



**TUGAS AKHIR – MO.141326**

**ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI GELADAK *BARGE* AKIBAT  
PENGARUH BEBAN PADA SAAT PROSES TRANSPORTASI  
*CONTAINER CRANE* PT.BERLIAN JASA TERMINAL INDONESIA**

Zulwaqor Maulana Achmad Al Amri

NRP. 4312 100 047

Dosen Pembimbing :

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



*FINAL PROJECT – MO.141326*

***DECK STRENGTH ANALYSIS DUE TO LOAD DURING THE  
TRANSPORTATION PROCESS CONTAINER CRANE PT.BERLIAN JASA  
TERMINAL INDONESIA***

Zulwaqor Maulana Achmad Al Amri

NRP. 4312 100 047

*Supervisors :*

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc

*Department of Ocean Engineering*

*Faculty of Marine Technology*

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

## LEMBAR PENGESAHAN

**Analisis Kekuatan Konstruksi Geladak Barge Akibat Pengaruh Beban  
Pada Saat Proses Transportasi Container Crane PT.Berlian Jasa Terminal  
Indonesia.**

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Zulwagor Maulana Achmad Al Amri

NRP. 4312 100 047

Disetujui oleh:

1. Ir. Handayani, M.Sc., Ph.D

(Pembimbing 1)

2. Ir. Joswari Jusuf Soedjono, M.Sc

(Pembimbing 2)

3. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng

(Penguji 1)

4. Ir. Imam Rochani, M.Sc

(Penguji 2)



Surabaya, Juli 2016

## ABSTRAK

Analisis Kekuatan Konstruksi Geladak *Barge* Akibat Pengaruh Beban Pada Saat Proses Transportasi *Container Crane* PT. Berlian Jasa Terminal Indonesia

Nama Mahasiswa : Zulwaqor Maulana Achmad Al Amri  
NRP : 4312 100 047  
Jurusan : Teknik Kelautan  
Dosen Pembimbing : Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D  
Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc

Analisis kekuatan geladak adalah salah satu faktor penting yang harus diperhatikan ketika melakukan transportasi modul berat dengan menggunakan kapal. *Barge* pada saat proses transportasi *container crane*. Pada tugas akhir akan diketahui apakah kekuatan dari geladak mampu menahan modul yang berada di atasnya. Analisis diawali dengan permodelan *barge* PAS 26011 - TK menggunakan *software* MAXSURF, dan juga permodelan struktur *container crane* menggunakan *software* SACS. Selanjutnya dilakukan analisis stabilitas keadaan *lightship*, *halfload*, dan *fulload*. Analisis selanjutnya adalah RAO dan respon spektrum dalam kondisi kapal berangkat *halfload* dan *fulload* untuk mencari percepatan pada gerakan *heave*, *pitch*, dan *roll*. Perhitungan kekuatan memanjang kapal juga dilakukan untuk mencari *bending moment* dan *shear force* yang terbesar pada badan kapal. Perhitungan beban berikutnya adalah beban akibat angin. Dari beberapa beban yang telah dianalisa, besar beban tersebut dilakukan untuk memasukan beban pada *software* ANSYS Mechanical yang hasilnya adalah berupa besaran tegangan yang terjadi pada konstruksi geladak ketika mentransportasikan *container crane*. Tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 104.77 MPa dan deformasi maksimum sebesar 6.89 mm, yang sudah aman berdasarkan *codes* GL dan ABS.

*Kata Kunci-Kekuatan Geladak, Barge, Container Crane, Seafastening, Analisis Kekuatan*

## ABSTRACT

### *DECK STRENGTH ANALYSIS DUE TO LOAD DURING THE TRANSPORTATION PROCESS CONTAINER CRANE PT.BERLIAN JASA TERMINAL INDONESIA*

*Name* : Zulwaqor Maulana Achmad Al Amri  
*REG* : 4312 100 047  
*Department* : Department of Ocean Engineering, Faculty of Marine Technology, ITS  
*Supervisors* : Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D  
Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc

*Analysis of deck strength is one of the important factors that must be considered when doing heavy transport module by barge. This thesis discusses about the task will be known whether the strength of the deck capable of holding the module above it. The analysis begins with modeling barge PAS 26 011 - TK using software maxsurf, and also container crane structure modeling using SACS software. The next state stability analysis lightship, halfload, and fullload. Subsequent analysis is RAO and spectrum to make the ship departed (halfload) to seek acceleration of the movement of heave, pitch, and roll which then calculate the load due to movement of the ship. Longitudinal strength calculations the ship is also done to find the bending moment and shear force is the largest in the hull. The calculation of the next load is a load due to wind. From some of the load that has been analyzed, it put on ANSYS mechanical software which results in the form of the amount of stress that occurs in the deck construction when transporting container cranes. The maximum stress that is 104.77 MPa and the maximum deformation is 6.89 mm. Based on rules ABS Shipbuilding and Repair Quality Standard For Hull Structures During Construction and Germanischer Lloyd strength deck is able to transport the modules for stress and deformation is still below to the allowable stress and limit the deformation.*

*Keyword- Deck Strength, Barge, Container Crane, Seafastening, Strength analysis*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat, karunia, dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam juga penulis panjatkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir ini berjudul “Analisis Kekuatan Konstruksi Geladak *Barge* Akibat Pengaruh Beban Pada Saat Proses Transportasi *Container Crane* PT.Berlian Jasa Terminal Indonesia.”. Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini membahas tentang analisa kekuatan dari geladak ketika mentransportasikan *container crane* dari pelabuhan perak Surabaya ke pelabuhan tenau NTT. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata penulis berharap penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang *marine technology* serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Imam Subeqi dan Safitri selaku kedua orang tua saya yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir ini. Tugas akhir ini saya persembahkan khusus untuk kedua orang tua saya.
2. Bapak Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing 1 saya dan Bapak Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc. selaku dosen pembimbing 2 saya dalam tugas akhir. Terima kasih atas bimbingan, ilmu serta dukungan kepada saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Wahyudi Citrosiswoyo, Ir., M.Sc., Dr.. selaku dosen wali saya selama kuliah di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS ini. Terima kasih atas bimbingan dan arahan bapak sehingga saya bisa menjadi mahasiswa yang lebih baik.
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya selama menjalani perkuliahan.
5. Bapak Alifdio Atmando dan Ibu Hutami Widya Arini (L-28) dan rekan-rekan PT. Gama Inti Samudera yang telah memberikan data-data yang dibutuhkan penulis untuk melaksanakan penelitian tugas akhir ini. Terima kasih atas bantuan dan motivasi yang sudah rekan-rekan berikan.
6. Moch Hamzah (L-29) selaku senior pembimbing yang telah mengajarkan ilmunya yang dibutuhkan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan Laboratorium Operasional Riset dan Perancaan yang telah berjuang bersama dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Rekan-rekan Varuna L-30 Teknik Kelautan 2012 yang selalu mendukung dan membantu satu sama lain hingga tugas akhir ini selesai.

## DAFTAR SIMBOL

KG	= <i>Center of Gravity</i> (m)
KB	= <i>Center of Bouyance</i> (m)
KM	= <i>Metacenter</i> (m)
T <sub>A</sub>	= Perubahan Tinggi Sarat Air pada Buritan (m)
T <sub>F</sub>	= Perubahan Tinggi Sarat Air pada Haluan (m)
l	= Lengan Momen Penegak (m)
GZ	= <i>Righting Arm</i> (m)
MG	= Jarak <i>Metacenter</i> ke Titik Berat (m)
$\Delta$	= <i>Displacement</i> Kapal (ton)
A	= <i>Wind Surface Area</i> (m <sup>2</sup> )
V	= Kecepatan Angin (knot)
X <sub>p</sub> ( $\omega$ )	= Amplitudo Struktur (m)
H ( $\omega$ )	= Amplitudo Gelombang (m)
S ( $\omega$ )	= Spektrum Gelombang
$\gamma$	= Parameter Puncak ( <i>peakedness parameter</i> )
$\tau$	= Parameter Bentuk ( <i>shape parameter</i> )
T <sub>p</sub>	= Periode Puncak Spektra (detik)
H <sub>s</sub>	= Tinggi Gelombang Signifikan (m)
S <sub>R</sub> ( $\omega$ )	= Spektrum Respon (m <sup>2</sup> -sec)
$\omega$	= Frekuensi Gelombang (rad/sec)
$\sigma$	= Gaya Aksial (kN)
P	= Gaya Tarik (N)
A	= Luas Penampang Lintang (m <sup>2</sup> )
F <sub>t</sub>	= Tegangan Tarik (MPa)
F <sub>y</sub>	= Tegangan <i>Yield</i> (MPa)
F <sub>a</sub>	= Tegangan Tekan (MPa)
E	= Modulus Elastisitas (MPa)
k	= Faktor Panjang Efektif
L	= Panjang Tanpa <i>Bracing</i> (m)
r	= Jari-jari Girasi (m)
C	= Koefisien Tegangan Kritis <i>Buckling</i>



D	= Diameter Luar (m)
t	= Ketebalan Pipa (m)
$F_{xc}$	= <i>Local Buckling In-elastic</i>
LOA	= <i>Length Overall</i> (m)
B	= <i>Breadth</i> (m)
H	= <i>Height</i> (m)
GRT	= <i>Gross Tonnage</i> (ton)
NT	= <i>Nett Tonnage</i> (ton)
Hs	= Tinggi Gelombang Signifikan (m)
T	= Periode Gelombang (s)
LCB	= <i>Longitudinal Centre of Bouyance</i> (m)
LCF	= <i>Longitudinal Centre of Flotation</i> (m)
KMt	= <i>Transversal Keel to Metacentre</i> (m)
KML	= <i>Longitudinal Keel to Metacentre</i> (m)
$\phi_a$	= Percepatan Tangensial ( $m/s^2$ )
F	= <i>Inertia Force</i> (kN)

## DAFTAR ISTILAH

<i>Surge</i>	= Gerakan translasi pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. X.
<i>Sway</i>	= Gerakan translasi pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. Y.
<i>Heave</i>	= Gerakan translasi pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. Z.
<i>Roll</i>	= Gerakan osilasi rotasional pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. X.
<i>Pitch</i>	= Gerakan osilasi rotasional pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. Y.
<i>Yaw</i>	= Gerakan osilasi rotasional pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. Z.
RAO	= <i>Respon Amplitude Operator</i> merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi tertentu.
Respon Spektra	= Respon densiti pada struktur akibat gelombang berupa <i>energy density spectrum</i> .
<i>Trim</i>	= Perbedaan sarat air antara haluan dan buritan pada kapal.
<i>Trim by Stren</i>	= Perbedaan sarat air ketika buritan lebih tinggi daripada haluan.
<i>Trim by Bow</i>	= Perbedaan sarat air ketika haluan lebih tinggi daripada buritan.
<i>Even Keel</i>	= Posisi kapal pada saat tidak ada perbedaan sarat pada haluan dan buritan.
<i>Righting Moment</i>	= Momen yang mengakibatkan kapal kembali ke posisi <i>even keel</i> .
<i>Righting Arm</i>	= Panjang lengan penegak.
<i>Heeling Arm</i>	= Panjang lengan momen pemutar.
<i>Downflooding Point</i>	= Titik dimana kapal tersebut mulai kemasukan air yang berakibat gerakan <i>rolling</i> .
<i>Lightship</i>	= Kondisi kapal ketika tidak ada muatan.
<i>Draft</i>	= Tinggi sarat air pada kapal.
<i>Deadweight</i>	= Berat maksimal muatan pada kapal

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Dasar Analisis Dinamis .....	8
2.2.2 Teori Gerak Bangunan Apung .....	9
2.2.3 Teori Stabilitas .....	10
2.2.4 Kurva Stabilitas .....	14
2.2.5 Teori Gelombang Reguler .....	15
2.2.6 Spektrum Gelombang.....	16
2.2.7 <i>Response Amplitude Operator</i> (RAO) .....	17
2.2.8 Respon Struktur pada Gelombang Acak .....	19
2.2.9 Beban Angin.....	21
2.2.10 Kekuatan Memanjang Kapal .....	24
2.2.11 Longitudinal Bending Moment Pada Still Water .....	26
2.2.12 Longitudinal Bending Moment Pada Calm Water .....	27
2.2.13 Tegangan Axial .....	28
2.2.14 Bending Stress .....	29

2.2.15	Tegangan Geser .....	30
2.2.16	Tegangan Von Misses .....	30
2.2.17	Beban-beban yang terjadi pada plat. ....	32
2.2.18	Metode Elemen Hingga .....	33
2.2.19	Boundary Condition dan Meshing .....	34
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN DAN PEMODELAN .....</b>		<b>37</b>
3.1	Alur Penelitian.....	37
3.2	Prosedur Penelitian.....	40
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>47</b>
4.1	Pemodelan Barge PAS-26011 TK.....	47
4.2	Analisa Stabilitas.....	52
4.3	<i>Response Amplitude Operator</i> Barge pada kecepatan 0 knot (diam).....	54
4.4	<i>Response Amplitude Operator Barge</i> pada kecepatan 1,2 dan 3 knot. ....	61
4.5	Respons Spektra Barge.....	68
4.6	Single Amplitude Accelaration .....	72
4.7	Pemodelan Container Crane.....	75
4.8	Perhitungan Gaya Gerak Translasi <i>Container Crane</i> Akibat Akselarasi Gerakan Translasi <i>Barge</i> .....	76
4.9	Perhitungan Gaya Gerak Rotasi <i>Container Crane</i> Akibat Akselarasi Gerakan Rotasi <i>Barge</i> .....	77
4.10	Curve of Sectional Area. ....	78
4.11	Penyebaran Berat <i>Barge</i> PAS 26011-TK.....	79
4.12	Penyebaran Gaya Apung <i>Barge</i> PAS 26011 – TK .....	80
4.13	Analisis Kekuatan Memanjang Kapal kondisi <i>still water</i> . ....	81
4.14	Analisis Kekuatan Memanjang Kapal Kondisi Gelombang Regular.....	82
4.15	<i>Shear Force</i> dan <i>Bending Moment</i> secara memanjang <i>barge</i> PAS 26011 – TK.....	84
4.16	Perhitungan Beban Angin. ....	84
4.17	Pemodelan Konstruksi Lambung <i>Barge</i> PAS 26011 – TK.....	85
4.18	Analisis <i>Meshing Sensivity</i> Konstruksi Geladak. ....	86
4.19	Analisis Tegangan pada Konstruksi Geladak <i>Barge</i> .....	87
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>91</b>
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran.....	91
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>93</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pengiriman container crane dengan menggunakan barge.....	2
Gambar 1.2 Jalur Pelayaran dari Surabaya ke NTT. ....	3
Gambar2.1 Gerak bangunan apung.....	10
Gambar 2.2 Ilustrasi Titik G pada Kapal .....	11
Gambar 2.3 Ilustrasi Titik B pada Kapal .....	11
Gambar 2.4 Ilustrasi Titik M pada Kapal .....	12
Gambar 2.5 Ilustrasi Gerakan Trim .....	13
Gambar 2.6 Ilustrasi Lengan dan Momen Pengembali pada Kapal.....	13
Gambar 2.7 Kurva Stabilitas Kapal .....	15
Gambar 2.8 Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung .....	18
Gambar 2.9 Sagging dan hogging.....	25
Gambar 2.10 Pengaruh berat bangunan apung dan buoyancy terhadap kekuatan memanjang .....	25
Gambar 2.11 Gaya vertikal (weight dan buoyancy) yang mempengaruhi .....	26
Gambar 2.12 Shearing force dan bending moment .....	26
Gambar 2.13 Still water dan wave bending moment.....	27
Gambar 2.14 Ilustrasi tegangan normal akibat gaya aksial, (+) tarik dan (-) tekan.....	29
Gambar 2.15 Tegangan lentur (bending) pada suatu penampang.....	29
Gambar 2.16 Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang .....	30
Gambar 2.17 Ilustrasi tegangan von mises .....	32
Gambar 2.18 Beban-beban yang Terjadi pada Plat. ....	33
Gambar 2.19 Pembuatan mesh pada konstruksi kapal.....	35
Gambar 3.1 General arrangement container crane PT.BJTI.....	40
Gambar 3.2 General arrangement barge PAS – 26011 TK. ....	41
Gambar 3.3 Data Offsets Table Barge PAS – 26011 TK .....	43
Gambar 4.1 Hydrostatic Model Barge PAS – 26011 TK .....	47
Gambar 4.2 Permodelan Software .....	48
Gambar 4.3 Pemodelan Tangki Tampak Samping. ....	48
Gambar 4.4 Pemodelan Tangki Tampak Atas. ....	48
Gambar 4.5 Kurva GZ kondisi Lightship .....	53
Gambar 4.6 Kurva GZ kondisi Halfload.....	53
Gambar 4.7 Kurva GZ kondisi Fullload .....	53

Gambar 4.9 Ilustrasi Arah Datang Gelombang Untuk Analisa Gerak Kapal .....	54
Gambar 4.10 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan heave pada kondisi muatan halfload. ...	55
Gambar 4.11. <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan heave pada kondisi muatan fullload. ....	55
Gambar 4.12 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan pitch pada kondisi muatan halfload. ...	56
Gambar 4.13 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan pitch pada kondisi muatan fullload. ....	56
Gambar 4.14 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan roll pada kondisi muatan halfload. ....	57
Gambar 4.15 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan roll pada kondisi muatan fullload. ....	57
Gambar 4.16 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan surge pada kondisi muatan halfload. ....	58
Gambar 4.17 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan surge pada kondisi muatan fullload. ....	59
Gambar 4.18 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan sway pada kondisi muatan halfload ....	59
Gambar 4.19 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan sway pada kondisi muatan fullload. ....	60
Gambar 4.20 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan yaw pada kondisi muatan halfload. ....	60
Gambar 4.21 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan yaw pada kondisi muatan fullload .....	61
Gambar 4.22 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan heave pada kondisi muatan halfload. ...	62
Gambar 4.23 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan heave pada kondisi muatan fullload. ....	62
Gambar 4.24 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan pitch pada kondisi muatan halfload. ...	63
Gambar 4.25 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan pitch pada kondisi muatan fullload. ....	63
Gambar 4.26 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan roll pada kondisi muatan halfload. ....	64
Gambar 4.27 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan roll pada kondisi muatan fullload. ....	64
Gambar 4.28 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan surge pada kondisi muatan halfload. ...	65
Gambar 4.29 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan surge pada kondisi muatan fullload. ....	65
Gambar 4.30 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan sway pada kondisi muatan halfload. ...	66
Gambar 4.31 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan sway pada kondisi muatan fullload. ....	66
Gambar 4.32 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan yaw pada kondisi muatan halfload. ....	67
Gambar 4.33 <i>Response Amplitude Operator</i> gerakan yaw pada kondisi muatan halfload. ....	67
Gambar 4.34 Respons spectra gerakan heave halfload arah datang gelombang $90^0$ .....	68
Gambar 4.35 Respons spectra gerakan heave fullload arah datang gelombang $90^0$ .....	68
Gambar 4.36 Respons spectra gerakan roll halfload arah datang gelombang $90^0$ .....	69
Gambar 4.37 Respons spectra gerakan roll fullload arah datang gelombang $90^0$ .....	70
Gambar 4.38 Respons spectra gerakan pitch halfload arah datang gelombang $180^0$ .....	70
Gambar 4.39 Respons spectra gerakan pitch fullload arah datang gelombang $180^0$ .....	71
Gambar 4.40 Desain container crane dari software SACS. ....	76
Gambar 4.41 Curve Section Area still water .....	79
Gambar 4.42 Curve Section Area regular wave .....	79

Gambar 4.43 Distribusi berat kapal secara memanjang kondisi lightship, halfload dan fullload. .....	80
Gambar 4.44 Gaya Bouyancy pada kondisi perairan still water halfload dan fullload. ....	80
Gambar 4.45 Gaya Bouyancy pada kondisi perairan gelombang regular halfload dan fullload. .....	81
Gambar 4.46 Grafik hasil perhitungan kekuatan memanjang kapal kondisi halfload perairan still water.....	82
Gambar 4.47 Grafik hasil perhitungan kekuatan memanjang kapal kondisi fullload perairan still water.....	82
Gambar 4.48 Grafik hasil perhitungan kekuatan memanjang kapal kondisi halfload pada gelombang regular. ....	83
Gambar 4.49 Grafik hasil perhitungan kekuatan memanjang kapal kondisi fullload pada gelombang regular. ....	83
Gambar 4.50 Hasil Pemodelan Konstruksi Geladak.....	85
Gambar 4.51 Proses Meshing pada Software ANSYS. ....	86
Gambar 4.52 Grafik Meshing Sensitivity pada masing-masing kondisi pembebanan. ....	87
Gambar 4.53 Equivalent (von-Mises) Stress pada geladak dan lambung kapal.....	88
Gambar 4.54 Equivalent (von-Mises) Stress Pada Konstruksi Geladak Barge. ....	88
Gambar 4.55 Deformasi Maksimum yang Terjadi Pada Geladak. ....	89
Gambar 4.56 Besar Deformasi Yang Terjadi pada Konstruksi Geladak. ....	89

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor koefisien material .....	7
Tabel 2.2 <i>Shape Coefficients for Wind Force Calculations</i> .....	23
Tabel 2.3 <i>Wind Pressure Height Coefficient Above the Design Water Surface</i> .....	23
Tabel 2.4 <i>Shapes Coefficients C for Sphere-Shaped Structure</i> .....	24
Tabel 3.1 Dimensi ukuran dari Barge PAS – 26011 TK .....	41
Tabel 3.2 Stability Booklet Hydrostatics Data Barge PAS - 26011 TK.....	41
Tabel 4.1 Loadcase Lightship .....	49
Tabel 4.2 Loadcase Halfload .....	50
Tabel 4.3 Loadcase Fullload .....	51
Tabel 4.4 Hasil Validasi Kondisi Full load pada Software dan Booklet .....	52
Tabel 4.5 Hasil Validasi Kondisi Half load pada Software dan Booklet.....	52
Tabel 4.6 Hasil Validasi Kondisi Light Ship pada Software dan Booklet.....	52
Tabel 4.7 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $0^0$ halfload.....	72
Tabel 4.8 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $0^0$ full load.....	72
Tabel 4.9 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $45^0$ halfload.....	73
Tabel 4.10 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $45^0$ fullload.....	73
Tabel 4.11 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $90^0$ halfload.....	73
Tabel 4.12 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $90^0$ fullload.....	74
Tabel 4.13 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $135^0$ halfload.....	74
Tabel 4.14 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $135^0$ fullload .....	74
Tabel 4.15 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $180^0$ halfload.....	75
Tabel 4.16 <i>Single Amplitude Accelaration</i> arah datang gelombang $180^0$ fullload .....	75
Tabel 4.17 Distribusi beban pada masing-masing kaki container crane.....	76
Tabel 4.18 Gaya inertia pada masing-masing kaki container crane. ....	77
Tabel 4.19 Gaya inertia gerakan roll pada masing-masing kaki container crane. ....	78
Tabel 4.20 Gaya inertia gerakan pitch pada masing-masing kaki container crane.....	78
Tabel 4.21 shear force dan bending moment maksimum pada kondisi perairan still water dan regular wave.....	84
Tabel 4.22 Gaya dan Moment angin dari arah $90^0$ .....	85
Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Meshing Sensitivity.....	86



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada jaman dimana teknologi sudah berkembang ini. Kemajuan teknologi pada berbagai macam cabang ilmu dan bidang keahlian, khususnya yang mencakup dunia kemaritiman. Pada awal perkembangan teknologi pembuatan kapal pada jaman dahulu hanya digunakan untuk tujuan mentransportasikan barang dagang dan orang. Namun di era ini, kapal dapat memiliki berbagai macam fungsi dan tujuan tergantung pada alasan pembangunan kapal. Salah satu contohnya digunakan sebagai unit fasilitas pengeboran dan anjungan penyimpanan minyak lepas pantai, fasilitas eksplorasi sumber minyak baru, bahkan dapat digunakan untuk mentransportasikan alat-alat yang berukuran besar dan memiliki berat yang notabene pada jaman dahulu tidak mampu diangkut dan ditransport menggunakan kapal seperti *jacket*, *topside module*, dan *crane* skala massif dalam sekali angkut. Salah satu jenis sistem transportasi yang sering dipraktekkan di lapangan adalah sistem transportasi menggunakan sistem *tow out*. Sistem *tow out* digunakan untuk moda pengangkut yang memiliki *buoyancy tanks* atau *floating sructures*. Struktur ini ditarik menuju tempat instalasi menggunakan *towing vessel*. Apabila struktur yang di tarik tidak mempunyai *buoyancy*, maka struktur diletakan pada kapal khusus yang berfungsi untuk mengangkut alat alat yang berukuran berat sebagai contohnya adalah *flat top deck cargo barge*.

Barge adalah kapal yang dibangun untuk transportasi sungai dan kanal dengan membawa muatan, seperti batu bara, kayu, dll. Beberapa tongkang tidak memiliki mesin sehingga harus ditarik oleh kapal tunda atau didorong oleh *tow boats*. Sedangkan *container crane* adalah alat yang digunakan untuk membongkar atau memuat peti kemas dari dan ke dermaga ke kapal peti kemas atau memindahkan peti kemas dari satu tempat ketempat lain di dalam terminal peti kemas. Dalam mentransportasikan *container crane* dari suatu tempat ke tempat yang lain bisa menggunakan barge, seperti pada gambar 1.1 berikut :



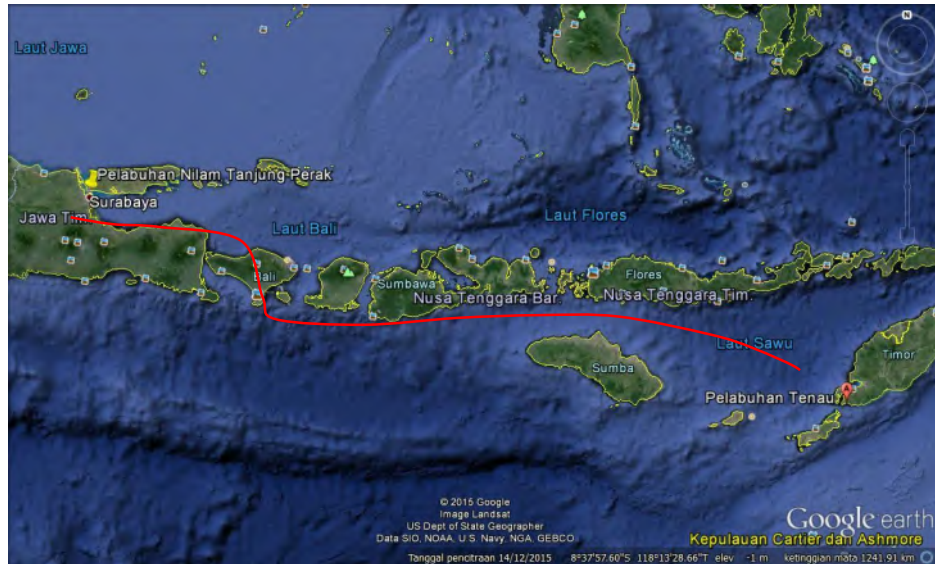
**Gambar 1.1** Pengiriman *container crane* dengan menggunakan *barge*.

*Barge* bekerja sebagai kapal yang mengangkut *container crane* tersebut dan ditarik oleh *tug boat* atau kapal tunda. Terdapat beberapa permasalahan yang perlu diperhatikan sebelum proses transportasi dilakukan, seperti proses *load out*, stabilitas kapal, kekuatan geladak kapal, serta kekuatan *seafastening*. Dalam tugas akhir ini, fokus pembahasan adalah pada kekuatan geladak kapal.

Analisa kekuatan geladak merupakan salah satu pertimbangan yang wajib untuk mengetahui apakah kekuatan dari geladak bisa menerima beban-beban dari modul diatas geladak. Ada dua jenis pembebanan yang perlu diperhatikan, yaitu beban statis dan dinamis. Beban statis adalah beban yang tidak berubah-ubah terhadap waktu. Sebagai contoh adalah beban karena modul diatas geladak dan beban dari kapal itu sendiri diatas perairan tenang (*still water*). Beban dinamis adalah beban yang berubah-ubah terhadap waktu dengan frekuensi tertentu, sebagai contoh adalah beban dari gelombang.

Tugas akhir ini mengambil studi kasus dari PT.Gama Inti Samudra. Dimana proyek yang dilakukan adalah transportasi *container crane* milik PT. BJTI dengan menggunakan *flat top deck cargo barge* PAS – 26011 TK yang ditarik dengan *tugboat*. Proses transportasi *container crane* dilakukan dari Pelabuhan Nilam Tanjung Perak Surabaya ke Pelabuhan Tenau Kupang Nusa Tenggara Timur. Dalam proyek ini banyak sekali yang harus diperhitungkan, mulai dari proses *load out*, *seafastening*, dan transportasinya. Untuk

proses transportasi *container crane*, perlu diperhatikan kekuatan geladak dari *barge* yang digunakan apakah mampu menerima beban-beban yang terjadi. Jalur transportasi yang dilalui oleh *barge* adalah sepanjang 756 mil, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.2 berikut:



**Gambar 1.2** Jalur Pelayaran dari Surabaya ke NTT.

### 1.2 Perumusan masalah

1. Beban apa sajakah yang mempengaruhi kekuatan konstruksi geladak *barge* selama proses transportasi *container crane*?
2. Bagaimana kekuatan konstruksi geladak *barge* akibat pengaruh beban yang terjadi saat proses transportasi *container crane*?

### 1.3 Tujuan

1. Menganalisis beban-beban yang mempengaruhi kekuatan konstruksi geladak *barge* sepanjang proses transportasi *container crane*?
2. Menganalisis besar kekuatan konstruksi geladak *barge* akibat beban pada saat proses transportasi *container crane*?

#### 1.4 Manfaat

1. Memberikan penjelasan dan informasi tentang bagaimana proses perhitungan kekuatan konstruksi geladak *barge* selama proses transportasi dilakukan.
2. Memberikan informasi mengenai besar tegangan maksimum yang mungkin terjadi pada saat proses transportasi *container crane*.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar acuan serta referensi bagi pelaksanaan proyek maupun penelitian serupa.

#### 1.5 Batasan Masalah

1. Konfigurasi peletakan *container crane* telah ditentukan.
2. Beban yang diperhitungkan dalam analisis adalah beban akibat pengaruh gelombang kondisi operasi, pengaruh beban angin, beban berat container crane, dan beban distribusi berat *barge* itu sendiri.
3. Kondisi perairan yang diperhitungkan adalah perairan yang dilewati pada saat proses transportasi crane yaitu alur perairan dari dermaga Tanjung Perak Surabaya menuju Pelabuhan Tenau, Kupang NTT
4. *Container crane* yang ditransportasikan dengan posisi pemuatan secara vertikal.
5. Parameter hydrostatic yang divalidasi adalah displacement, KMI, KMt, TPI, MCt.
6. Pada pemodelan FEM, konstruksi yang diperhitungkan adalah konstruksi dari geladak beserta hull.
7. Model konstruksi FEM diasumsikan dilas dan tersambung sempurna, tanpa cacat.
8. Variasi muatan yang diperhitungkan adalah *lightship*, *half load* dan *full load*.
9. Variasi kecepatan barge yang diperhitungkan dalam analisis adalah 1,2 dan 3 knot.
10. Arah datang gelombang papasan yang diperhitungkan dalam analisis adalah arah gelombang dari  $45^0$ ,  $90^0$ ,  $135^0$  dan  $180^0$ .

#### 1.6 Sistematika Penulisan

- Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian, manfaat yang diperoleh, serta ruang lingkup penelitian untuk membatasi analisis yang dilakukan.

- Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi referensi dan juga teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Referensi tersebut bersumber pada jurnal lokal maupun internasional, literatur, *code* dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

- Bab III Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang alur pengerjaan Tugas Akhir dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan data-data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

- Bab IV Analisis dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data yang diperoleh, kemudian hasil pemodelan struktur dengan menggunakan MAXSURF, dimana output dari MAXSURF digunakan untuk pembebanan analisa tegangan geladak dengan menggunakan *finite element analysis* pada *software* ANSYS.

- Bab V Penutup

Bab ini berisi simpulan yang merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisis. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada. Pada bab ini terdapat pula saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait ke depannya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Transportasi merupakan proses pemindahan struktur anjungan lepas pantai dari darat ke lokasi akhir tempat instalasinya. Salah satu analisis yang perlu dilakukan adalah mempertimbangkan beban yang menumpu pada kapal dalam beberapa kondisi pembebanan. Pada saat posisi kapal di atas permukaan air tenang, maka tegangan-tegangan yang terjadi pada *deck* dan *beam* berasal dari struktur itu sendiri (Murman, 2002)

Di dalam perencanaan struktur bangunan baja, terdapat tiga metode perencanaan yang berkembang secara bertahap di dalam sejarahnya (Bowless, 1979), salah satunya adalah *allowable stress design*. Didalam metode ini, elemen struktur pada bangunan (pelat/balok/kolom/pondasi) harus direncanakan sedemikian rupa sehingga tegangan yang timbul akibat beban kerja tidak melampaui tegangan ijin yang telah ditetapkan.

$$\sigma_{maks} \leq \sigma_{ijin}$$

Pada *rules GERMANISCHER LLOYD* tegangan ijin yang digunakan adalah sebesar  $190/k$ , dimana  $k$  adalah faktor dari kekuatan material, sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Faktor koefisien material

ReH [N/mm <sup>2</sup> ]	k
235	1
315	0.78
355	0.71
390	0.66

Abdul (2015) telah melakukan penelitian tentang analisis kekuatan modifikasi konstruksi geladak utama kapal LCT VIP JAYA 893 GT dengan metode elemen hingga dengan menggunakan *rules* dari BKI dimana tegangan ijin yang digunakan adalah sebesar 235 N/mm<sup>2</sup>. Kesimpulannya adalah tegangan terbesar dihasilkan ketika kapal dalam kondisi *sagging* sebesar 182,3 N/mm<sup>2</sup> yang masih dibawah tegangan ijin dari *rules* BKI

Erwina (2009) juga telah melakukan analisis tentang kekuatan struktur antara *deck* dan lambung bagian dalam kapal katamaran. Analisis ini berbeda dengan analisis yang dilakukan oleh Abdul, karena analisis kekuatan berdasarkan beban statis dan beban dinamis dari gelombang. Untuk menghitung tegangan yang terjadi dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan keluaran berupa tegangan von mises. Kesimpulan dari analisis ini adalah tegangan yang terbesar adalah ketika kapal dalam kondisi *fullload*, dan mengalami gerakan *heave* dan *pitch* dengan arah datang gelombang  $0^\circ$  sebesar 235 MPa.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Dasar Analisis Dinamis

Berdasarkan DNV OS E301 (2004), metode analisis simulasi domain pada bangunan lepas pantai dibagi menjadi dua, yaitu

#### a. Frequency Domain Analysis

*Frequency domain analysis* adalah simulasi kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Metode ini bisa digunakan untuk memperkirakan respon gelombang acak, seperti gerakan dan percepatan *platform*, gaya tendon, dan sudut. Keuntungan metode ini adalah tidak membutuhkan banyak waktu untuk perhitungan, *input* dan *output* juga lebih sering digunakan oleh perancang. Kekurangannya adalah untuk setiap persamaan *non-linear* harus diubah menjadi *linear*. Pada *frequency domain analysis*, keseimbangan dinamik dari sistem *linear* dapat diformulasikan dengan persamaan (2.1)

$$M_{(\omega)}a + C_{(\omega)}u + K_{(\omega)}r = Xe^{i\omega t}$$

dengan

$M(\omega)$	=	matriks massa fungsi frekuensi (ton)
$C(\omega)$	=	matriks damping fungsi frekuensi (ton/s)
$K(\omega)$	=	matriks kekakuan fungsi frekuensi (kN/m)
$X$	=	vektor beban kompleks memberikan informasi pada amplitudo beban dan fase pada semua derajat kebebasan

$r$	=	vektor <i>displacement</i> (m)
$u$	=	vektor kecepatan (m/s)
$a$	=	vektor percepatan (m/s <sup>2</sup> )

#### *b. Time Domain Analysis*

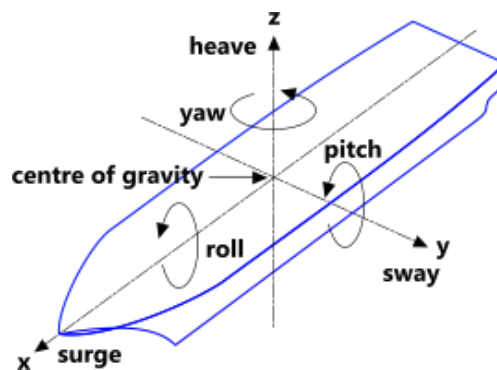
*Time domain analysis* adalah penyelesaian gerakan dinamis berdasarkan fungsi waktu. Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini akan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu  $x(t)$ . Metode analisis *time domain* umumnya seperti program komputer dapat digunakan untuk menganalisis semua situasi tali tambat dibawah pengaruh dinamika frekuensi gelombang. Periode awal harus dimaksimalkan untuk meminimalkan efek transien. Namun, metode ini dalam membutuhkan proses lebih kompleks dan waktu yang lama. Hal ini membutuhkan simulasi *time history*. *Time history* memberikan hasil *tension* maksimum, beban jangkar, dan lain-lain. Keuntungan metode ini dibandingkan *frequency domain* adalah semua tipe *non-linear* (matriks sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat. Sedangkan kerugiannya adalah membutuhkan waktu perhitungan yang lebih. Menurut DNV OS E301, minimal simulasi *time domain* adalah selama 3 jam (10800 detik).

### **2.2.2 Teori Gerak Bangunan Apung**

Bangunan apung secara garis besar dibagi menjadi dua kategori, meliputi bangunan apung berbadan silindris dan bangunan apung berbadan kapal (Soetomo, 2010). Bangunan apung berbadan silindris dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu *single bodied* dan *space framed bodied*. Bangunan apung ramping memiliki kriteria perbandingan antara diameter struktur dengan panjang gelombang datang kurang dari sama dengan 0.2, sedangkan bangunan apung gemuk memiliki kriteria perbandingan antara diameter struktur dengan panjang gelombang datang lebih dari 0.2. Struktur bangunan apung memiliki enam moda gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok yakni moda gerak translasional dan moda gerak rotasional (Bhattacharyya, 1972).



- a. Moda gerak translasional
  - i. *Surge*, arah gerak sumbu x
  - ii. *Sway*, arah gerak sumbu y
  - iii. *Heave*, arah gerak sumbu z
- b. Moda gerak rotasional
  - i. *Roll*, arah gerak sumbu x
  - ii. *Pitch*, arah gerak sumbu y
  - iii. *Yaw*, arah gerak sumbu z



**Gambar2.1** Gerak bangunan apung

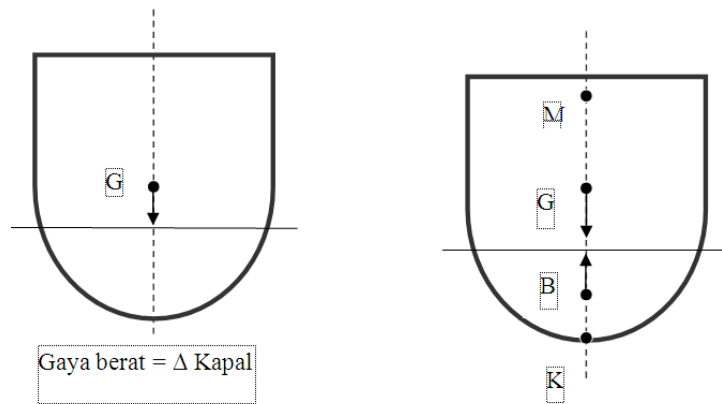
(sumber : Soetomo, 2010)

### 2.2.3 Teori Stabilitas

Stabilitas adalah keseimbangan dari kapal, merupakan sifat atau kecenderungan dari sebuah kapal untuk kembali kepada kedudukan semula setelah mendapat kemiringan yang disebabkan oleh gaya-gaya dari luar. Stabilitas statis adalah stabilitas kapal pada saat diam yang terdiri dari stabilitas melintang, tegak, membujur. Untuk mempelajari stabilitas maka harus memahami titik-titik penting pada stabilitas.

#### 1. Titik “G”

Titik berat (*center of gravity*), merupakan titik tangkap dari semua gaya-gaya yang menekan ke bawah terhadap kapal, makin banyak bobot yang diletakkan di bagian atas maka semakin tinggi letak titik G nya.

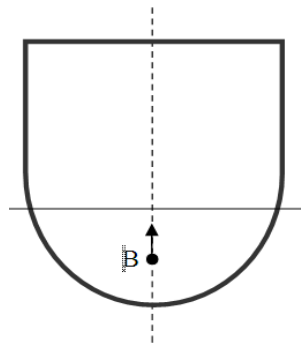


**Gambar 2.2** Ilustrasi Titik G pada Kapal

(sumber: [www.google.com](http://www.google.com))

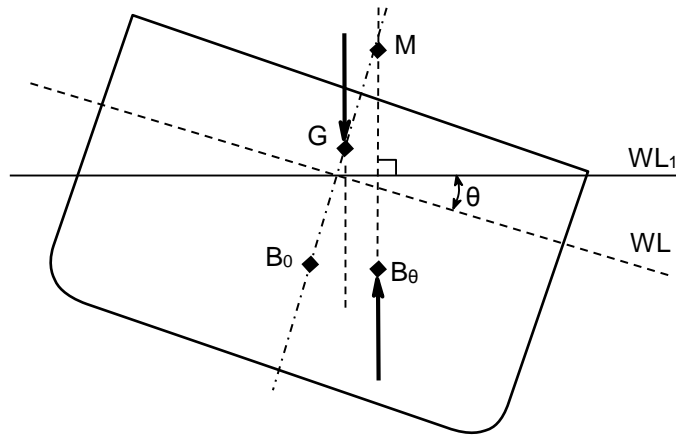
## 2. Titik “B”

Titik apung (*center of bouyance*), merupakan titik tangkap dari resultan gaya yang menekan ke atas dari bagian kapal yang terbenam dalam air. Titik tangkap B akan berpindah-pindah dikarenakan perubahan sarat kapal.



**Gambar 2.3** Ilustrasi Titik B pada Kapal

(sumber: [www.google.com](http://www.google.com))



### 3. Titik “M”

**Gambar 2.4** Ilustrasi Titik M pada Kapal

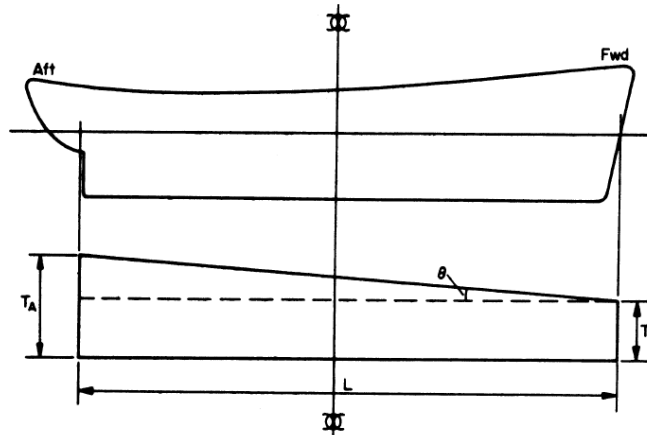
(sumber: [www.google.com](http://www.google.com))

Titik metacenter adalah titik semu yang dihubungkan oleh garis vertikal diatas titik tangkap gaya apung (B) pada sebuah kapal ketika keadaan trim. Jarak antara lunas kapal dengan titik G dinyatakan dalam KG (VCG), jarak antara lunas kapal dengan titik B dinyatakan dalam KB (VCB), dan jarak antara lunas kapal dengan titik M dinyatakan dalam KM, maka:

$$KM = KB + BM$$

$$KM = KG + GM$$

*Trim* adalah perbedaan sarat antara haluan dan buritan, saat buritan yang lebih tinggi disebut *trim by stern*, sedangkan sarat haluan yang lebih tinggi disebut *trim by bow*. *Trim* dapat dihitung dengan menghitung selisih antara sarat pada haluan dan buritan, dan sudut *trim* adalah sudut kemiringan ketika *trim* yang dihitung dari titik pusat gaya apung (F).



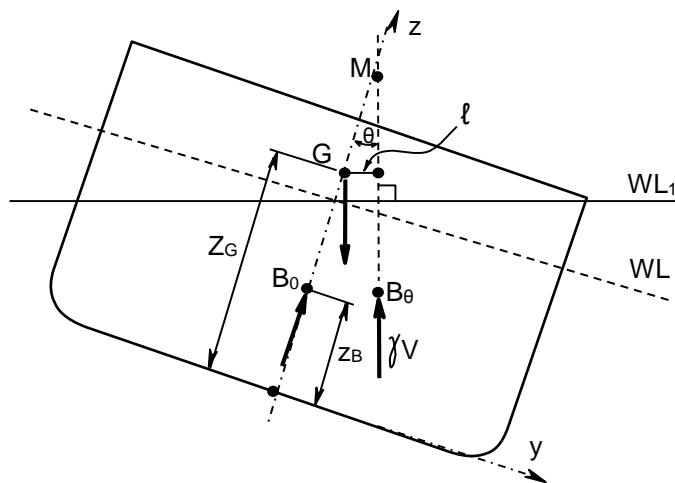
**Gambar 2.5** Ilustrasi Gerakan Trim

(sumber: K.J. Rawson, 2001)

$$Trim = T_A - T_F$$

$$Sudut Trim (\theta) = \frac{T_A - T_F}{L}$$

Pada waktu kapal tegak (*even keel*), garis kerja gaya berat dan gaya apung berimpit dan berada pada *center line* kapal dan kapal dalam keadaan diam atau seimbang. Pada waktu kapal oleng, jika tidak ada muatan yang bergeseran, maka titik berat kapal (G) tidak bergeser. Dengan bergesernya titik gaya apung (B), hal ini mengakibatkan timbulnya momen kopel yang sama besar antara gaya berat (G) dan gaya apung (B). Momen kopel



ini disebut momen penegak (*righting moment*) karena momen ini mengakibatkan kapal kembali ke posisi tegak (*even keel*).

**Gambar 2.6** Ilustrasi Lengan dan Momen Pengembali pada Kapal

(*sumber: ITS, 1999*)

Lengan momen penegak adalah:

$$l = GZ = MG \sin \theta$$

MG menunjukkan tinggi titik metacenter M diatas titik berat G dan disebut tinggi metacenter melintang, besar MG menentukan besar lengan stabilitas. Dari gambar kita lihat bahwa tinggi metacenter sama dengan tinggi titik apung ditambah jari-jari metacenter dikurangi tinggi titik berat, atau tinggi metacenter sama dengan tingi titik M diatas lunas dikurangi tingi titik berat.

Tinggi metacenter adalah:

$$MG = KM - KG = Z_M - Z_G$$

Momen penegak menjadi:

$$M = Dl = DMG \sin \theta = D(r_r - a)\theta$$

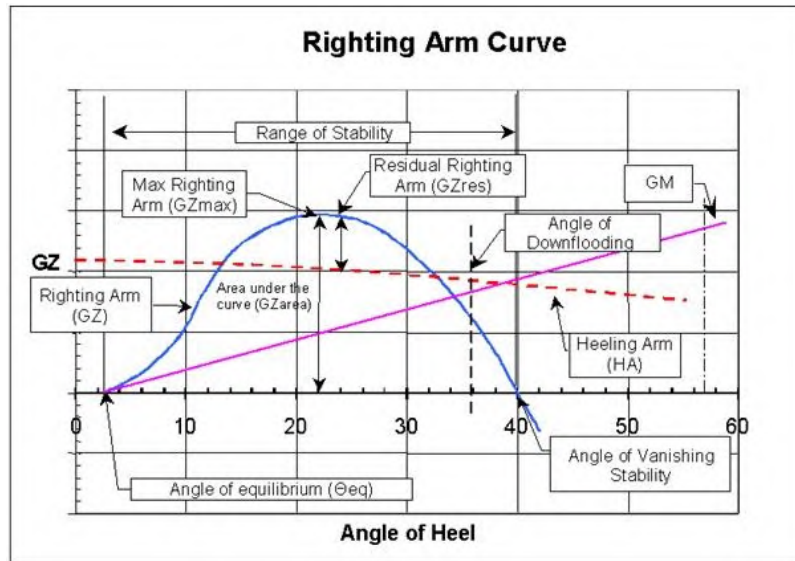
Dimana:

$M_r$  = Momen Pengembali (*Righting Moment*)

$D$  = *Displacement* Kapal

#### 2.2.4 Kurva Stabilitas

Kurva stabilitas adalah kurva yang menunjukkan stabilitas sebuah kapal bermuatan tertentu dalam kemiringan tertentu. Dalam kurva stabilitas berisi mengenai lengan penegak (*righting arm*), lengan momen pemutar (*heeling arm*), dan *downflooding point*. *Downflooding point* adalah titik dimana kapal tersebut mulai kemasukan air pada sudut tertentu akibat gerakan *rolling*, untuk area dibawah kurva merupakan besarnya momen yang terjadi pada kapal ketika sudut tertentu.



**Gambar 2.7** Kurva Stabilitas Kapal

(sumber: [www.google.com](http://www.google.com))

Nilai *righting arm* (GZ) dari kurva diatas didapat dari perhitungan seperti yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya, sedangkan *heeling arm* atau lengan pemutar dapat dihitung dengan:

$$Heeling\ Arm = 0,19 \times 10^{-6} \frac{AV^2L}{\Delta} \cos^2 \alpha$$

Dimana:

A = Wind Surface Area (m<sup>2</sup>)

V = Kecepatan Angin (knots)

l = Panjang Jarak Wind Surface Area ke Setengah Sarat Kapal (m)

Δ = Displacement Kapal (Ton)

### 2.2.5 Teori Gelombang Reguler

Dengan mengasumsikan kondisi dasar laut adalah rata dan batasan horisontal pada permukaan bernilai tak hingga maka teori gelombang linear atau yang lebih dikenal dengan teori gelombang Airy dapat diterapkan. Adapun persamaan-persamaan yang dari teori gelombang Airy adalah sebagai berikut :

- a. Kecepatan potensial ( $\phi$ )

$$\phi = \frac{gA \cosh k(z+d)}{\omega \cosh kd} \cos(\omega t - kx)$$

- b. Kecepatan fluida ( $v_z$ )

$$v_z = A\omega \frac{\sinh(kz - kd)}{\sinh(kd)} \cos(\omega t - k.x)$$

- c. Percepatan fluida ( $a_z$ )

$$a_z = -A\omega^2 \frac{k \sinh(kz + kd)}{k \sinh(kd)} \sin(\omega t - k.x)$$

dengan,

A = amplitudo gelombang (m)

$\omega$  = frekuensi alami gelombang (rad/s<sup>2</sup>)

k = angka gelombang

d = kedalaman laut (m)

### 2.2.6 Spektrum Gelombang

Sebuah gelombang reguler memuat energi yang diidentifikasi pada setiap unit atau satuan luas permukaannya ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya (Djarmiko, 2012).

$$\frac{dE_T}{dA} = \frac{dE_p + dE_K}{dA} = \frac{1}{2} \rho g \zeta_0^2$$

Dengan

dE<sub>T</sub> = energi total

dA = luas permukaan

$dE_P$	= energi potensial
$dE_K$	= energi kinetik
$\zeta_0$	= amplitudo gelombang

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan dapat diekspresikan sebagai kepadatan spektrum gelombang atau lebih dikenal dengan istilah spektrum gelombang.

Bersamaan dengan semakin meningkatnya intensitas studi yang dilakukan mengenai respon gerak pada gelombang acak telah banyak dihasilkan spektrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Jenis-jenis spektrum gelombang yang biasa digunakan dalam perhitungan adalah model Pierson-Moskowitz (1964), ISSC (1964), Scott (1965), Bretschneider (1969), JONSWAP (1973), ITTC (1975) dan Wang (1991). Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada spektrum gelombang JONSWAP karena karakteristik perairan Indonesia yang tertutup atau kepulauan sehingga cocok dengan karakter spektrum JONSWAP (Djarmiko, 2012).

Spektrum JONSWAP didasarkan pada percobaan yang dilakukan di *North Sea*. Persamaan spektrum JONSWAP dapat dituliskan dengan memodifikasi persamaan spektrum Pierson-Moskowitz (DNV RP-C205, 2010), yaitu:

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{pm}(\omega) \gamma^{\exp(-0.5(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p})^2)}$$

dengan

$S_{pm}(\omega)$	= Spektra Pierson-Moskowitz
	$= \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^4 \omega^{-5} \exp(-\frac{5}{4}(\frac{\omega}{\omega_p})^{-4})$
$\gamma$	= parameter puncak
$\sigma$	= parameter bentuk ( <i>shape parameter</i> )
	untuk $\omega \leq \omega_0 = 0.07$ dan $\omega \geq \omega_0 = 0.09$
$A_\gamma$	= <i>normalizing factor</i>



	$= 1 - 0.287 \ln(\gamma)$
$\omega$	$=$ periode gelombang (rad/s)
$\omega_p$	$=$ <i>angular spectral peak frequency</i> (rad/s)
$H_s$	$=$ tinggi gelombang signifikan (m)
$T_p$	$=$ periode puncak (s)

### 2.2.7 Response Amplitude Operator (RAO)

*Response Amplitude Operator* (RAO) merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan oleh gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987) RAO dapat didefinisikan sebagai :

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.8)$$

dengan

$X_p(\omega)$	$=$ amplitudo struktur
$\eta(\omega)$	$=$ amplitudo gelombang

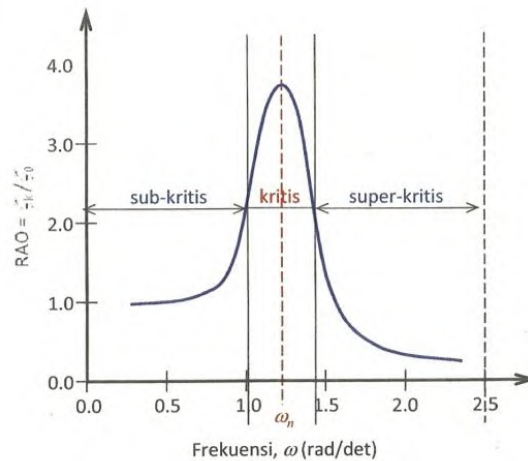
*Response Amplitude Operator* (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur (Prasiwi, 2014).

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang) (Djarmiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sama dengan persamaan (2.20).

Sedangkan untuk respon gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan

gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang ( $k_w = \omega^2/g$ ) dengan amplitudo gelombang insiden (Djtmiko, 2012)

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} = \frac{\zeta_{k0}}{(\frac{\omega^2}{g})\zeta_0} \text{ (rad/rad) (2.9)}$$



**Gambar 2.8** Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung

(sumber : Djtmiko, 2012)

Berdasarkan gambar 2.3, kurva respon gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian meliputi

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau  $\omega^2 < k/(m+a)$ , gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara

hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni  $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.

- c. Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana  $\omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko, 2012).

### 2.2.8 Respon Struktur pada Gelombang Acak

Dalam analisis respon bangunan apung pada gelombang reguler dapat diketahui pengaruh interaksi hidrodinamik pada massa tambah, *potential damping*, dan gaya eksternal. Analisis tersebut menghasilkan respon struktur pada gelombang reguler. Sedangkan gelombang yang terjadi di lapangan merupakan gelombang acak sehingga dituntut untuk melakukan analisis respon struktur pada gelombang acak. Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah yang tak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang memiliki tingkat energi tertentu yang dikontribusikan dan secara keseluruhan dapat diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djarmiko, 2012).

Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon. Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung tersebut beroperasi. Persamaan spektrum respon secara matematis dapat dituliskan sebagai

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.10)$$

dengan

$S_R$	=	spektrum respons ( $m^2/s$ )
$S(\omega)$	=	spektrum gelombang ( $m^2/s$ )
$RAO(\omega)$	=	<i>transfer function</i>
$\omega$	=	frekuensi gelombang (rad/s)

Setelah spektrum respon diperoleh maka intensitas gerakan dapat dihitung sebagai fungsi luasan di bawah kurva spektrum respon atau merupakan variasi elevasi gerakan, yaitu sebagai berikut

$$m_{r0} = \int_0^\infty S_z(\omega) d\omega \quad (2.11)$$

Jika persamaan (2.23) diturunkan akan didapatkan harga-harga statistik gerakan sebagai fungsi varian elevasi gerakan  $m_{r0}$ , misalnya sebagai amplitudo gerakan rata-rata yang dihitung sebagai

$$\bar{\zeta}_r = 1.25\sqrt{m_{r0}} \quad (2.12)$$

Harga amplitudo gerakan signifikan dihitung sebagai

$$\zeta_{rs} = 2.0\sqrt{m_{r0}} \quad (2.13)$$

Amplitudo respon ekstrem yang berpeluang terjadi dalam waktu T jam dapat dihitung

$$\text{dengan persamaan } \hat{\zeta}_r = \sqrt{m_{r0}} \times \sqrt{\left\{2 \ln \left( \frac{60^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{r2}}{m_{r0}}} \right)\right\}} \quad (2.14)$$

Harga  $m_{r2}$  merupakan momen kedua dari luasan di bawah kurva spektrum respon

### 2.2.9 Beban Angin

Suatu struktur bangunan apung harus didesain agar dapat bertahan dari gas angin dengan kecepatan minimal 36 m/s pada saat kondisi operasi dan 51.5 m/s saat kondisi badai/*intach*, dan kecepatan angin 25.8 m/s untuk kondisi *damage*. Pengaruh gaya angin terhadap kekuatan global struktur tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan gaya gelombang. Pengaruh lokal gaya angin terhadap semua peralatan dan bagian struktur FSO harus dihitung demi keamanan.

Untuk menghitung kecepatan angin pada elevasi diatas 10 m dari permukaan air digunakan hukum *one-seventh power* (Dawson, 1983) yang dapat digunakan hingga kecepatan angin pada elevasi 600 ft (182.88 m). Persamaan tersebut :

$$V = V_o \left( \frac{y}{10} \right)^{\frac{1}{7}}$$

dengan :

V= kecepatan angin pada elevasi y (m/s)

$V_o$ = kecepatan angin pada elevasi 10 m (m/s)

y = elevasi yang akan dihitung kecepatan anginnya (m)

Untuk perhitungan gaya angin yang mengenai struktur, dapat dicari dengan persamaan – persamaan berikut :

Berdasarkan ABS, 2001 :

$$F = \frac{1}{2} \rho C_s C_h A V^2$$

dengan :

F = gaya angin (N)

$\rho$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ ) = 1.226  $\text{kg/m}^3$

$C_s$  = koefisien dari bentuk benda yang terkena angin

$C_h$  = koefisien dari ketinggian benda

A = area/luasan yang terkena angin ( $\text{m}^2$ )

V= kecepatan angin (m/s)

Berdasarkan DNV, 2007 :

$$F = C q S \sin \alpha$$

dengan :

C= koefisien bentuk

q = tekanan angin

S = daerah proyeksi normal terhadap arah gaya

$\alpha$  = sudut antara arah angin dan sumbu permukaan

Nilai tekanan angin  $q$  dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$q = \frac{1}{2} \rho a U_{Tz}^2$$

dengan :

$q$  = tekanan angin

$\rho a$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ ) = 1.226  $\text{kg/m}^3$

$U_{Tz}$  = rata – rata kecepatan angin selama waktu interval  $T$  pada ketinggian  $z$  meter diatas rata – rata permukaan air atau daratan.

Untuk nilai kecepatan angin pada saat kondisi ekstrim, dapat menggunakan persamaan dibawah ini dengan kecepatan  $U_o$  pada ketinggian  $h$  diatas permukaan laut dengan rata–rata kecepatan angin  $U$  dan rata – rata ketinggian periode  $T_z$  atas permukaan laut.

$$U(T, z) = U_o \left\{ 1 + C \cdot \ln \frac{T}{T_o} \right\} \left\{ 1 - 0.41 \cdot I_U(z) \cdot \ln \frac{T}{T_o} \right\}$$

dengan :

$h = 10 \text{ m}$ ,  $T_o = 1 \text{ jam}$ , dan  $T < T_o$

$$C = 5.73 \cdot 10 \cdot \sqrt[2]{1 + 0.15 U_o}$$

$$I_U = 0.06 \cdot (1 + 0.043 U_o) \left( \frac{z}{h} \right)^{-0.22}$$

Dimana  $U$  akan memiliki *return periode* yang sama dengan  $U_o$ .

Berdasarkan uraian diatas maka persamaan yang lebih valid untuk menghitung beban angin pada saat kondisi ekstrim adala dengan menggunakan persamaan berdasarkan DNV. Nilai koefisien bentuk berdasarkan ABS dan DNV berbeda – beda tergantung pada bentuk benda yang terkena angin. Nilai dari koefisien ( $C_s$ ) menurut ABS dapat dilihat dari Tabel 2.2

**Tabel 2.2** *Shape Coefficients for Wind Force Calculations*

<i>Shape of Structure</i>	<i><math>C_s</math></i>
<i>Spherical</i>	0.40
<i>Cylindrical shapes (all sizes) used for crane pedestals, booms, helidecks, etc</i>	0.50

<i>Hull, based on block projected area</i>	1.00
<i>Deck houses</i>	1.00
<i>Closters of deck houses and other structures, based on block projected area</i>	1.00
<i>Isolated structural shaped (ie.g., cranes, angle channel beams, etc)</i>	1.50
<i>Under deck areas (smooth)</i>	1.00
<i>Under deck surface (exposed beams and griders)</i>	1.30
<i>Rig derrick, cace face, assuming fabricated from angle</i>	1.25

(Sumber: ABS MODU Part 3, 2001)

Sedangkan nilai dari  $C_h$  dapat dilihat pada Tabel 2.3

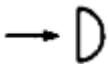

**Tabel 2.3** *Wind Pressure Height Coefficient Above the Design Water Surface*

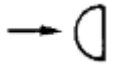
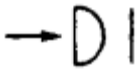
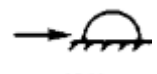
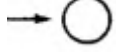
Height (m)	Height (ft)	Cb
0-15.3	0-50	1.00
15.3-30.5	50-100	1.10
30.5-46.6	100-150	1.20
46-61	150-200	1.30
61-76	200-250	1.37
76-91.5	250-300	1.43
91.5-106.5	300-350	1.48

(Sumber: ABS MODU Part 3, 2001)

Nilai dari koefisien (C) menurut DNV dapat dilihat pada Tabel 2.4

**Tabel 2.4** *Shapes Coefficients C for Sphere-Shaped Structure*

	Structures	Shape Coefficient
	Hollow hemisphere, concavity to wind	1.40
	Hollow hemisphere	0.35

	Hollow or solid hemisphere, concavity to leeward		0.40
	Solid hemisphere and circular disc		1.20
	Hemisphere on horizontal plane		0.50
	Sphere	$Re \leq 4.2 \times 10^5$	0.5
		$4.2 \times 10^5 < Re < 4.2 \times 10^6$	0.15
		$Re \geq 10^6$	0.20

(Sumber: DNV RP C205, 2007)

Nilai *Reynolds Number* (Re) diperoleh dengan persamaan :

$$Re = \frac{D \cdot U_{T,z}}{v_a}$$

dengan :

D= diameter (m)

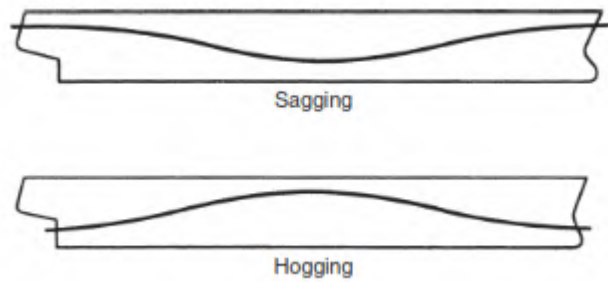
$U_{T,z}$  = kecepatan angin pada elevasi z (m/ s)

$v_a$  = viskositas kinematis udara ( $1.55 \times 10^{-5}$ )

### 2.2.10 Kekuatan Memanjang Kapal

Dua kondisi yang perlu diperhatikan pada kekuatan memanjang kapal adalah suatu kondisi dimana puncak gelombang pada amidship dan kondisi puncak gelombang terdapat pada ujung-ujung kapal. Maka kapal akan mengalami *hogging* dan *sagging*. Pada kondisi tertentu *hogging* dan *sagging* mengalami nilai yang besar karena kondisi distribusi massa kapal seperti ilustrasi *sagging* dan *hogging* pada Gambar 2.9.

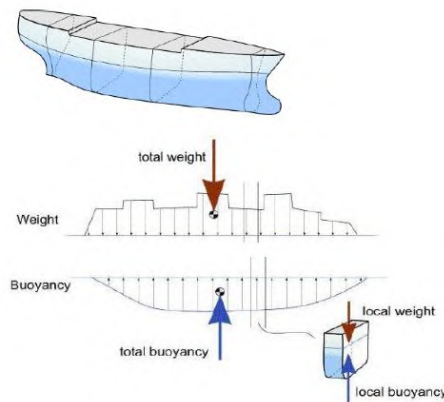




**Gambar 2.9** Sagging dan hogging

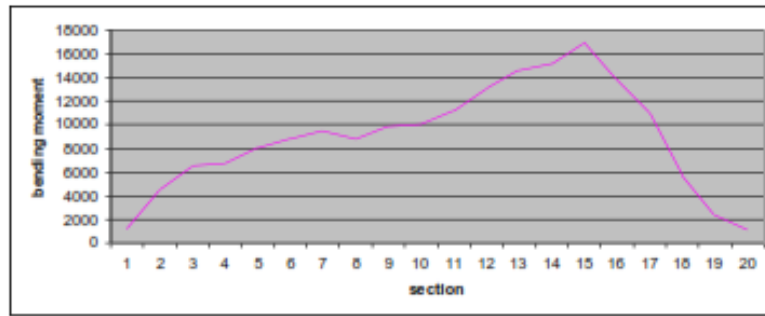
(Sumber: Eric Tupper, Introduction to Naval Architecture, 2002)

Pada dasarnya kekuatan memanjang kapal diakibatkan oleh gaya vertical yang dialami oleh grider badan kapal yakni gaya berat dan gaya buoyancy. Untuk suatu floating body harus sebanding dengan total buoyancy dan kedua gaya tersebut harus beraksi sepanjang garis yang sama. Meskipun berat pada tiap lokasi sepanjang kapal tidak akan sebanding dengan *buoyancy*. Gaya berat dipengaruhi oleh kombinasi berat kapal dan berat muatan yang memiliki lokasi berat yang tetap, sedangkan gaya buoyancy dipengaruhi oleh bentuk badan kapal dan lokasi kapal pada air (*draft* dan *trim*) seperti ilustrasi pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11 yang menjelaskan pengaruh gaya berat dan *buoyancy* terhadap kekuatan memanjang di bawah ini.



**Gambar 2.10** Pengaruh berat bangunan apung dan *buoyancy* terhadap kekuatan memanjang

(Sumber: google.com)



**Gambar 2.11** Gaya vertikal (*weight dan buoyancy*) yang mempengaruhi kekuatan memanjang kapal  
(Sumber : C.G. Daly, Ship Structure I)

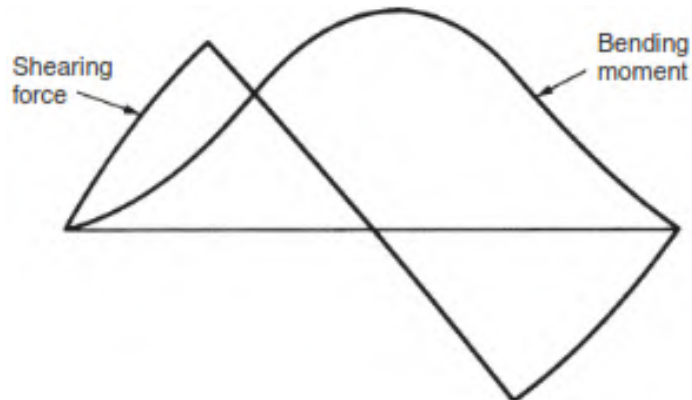
### 2.2.11 Longitudinal Bending Moment Pada Still Water

Jika  $A$  merupakan cross-sectional area pada suatu titik, beban per satuan panjang pada suatu titik adalah  $\rho g A - mg$ , *shearing force* ( $F$ ) dan *Momen Bending* ( $M$ ) dirumuskan sebagai berikut :

$$F = \int (\rho g A - mg) dx$$

$$M = \int F dx = \iint (\rho g A - mg) dx \cdot dx$$

Kurva *shearing force* dan *Momen Bending* ditunjukkan pada Gambar 2.12 berikut ini:



**Gambar 2.12** Shearing force dan bending moment

(Sumber: Eric Tupper, Introduction to Naval Architecture, 2002)

### 2.2.12 Longitudinal Bending Moment Pada Calm Water

Pada air yang bergelombang bending momen dirumuskan sebagai berikut :

$$M = M_s + M_w$$

$$M_w = M_\zeta + M_z + M_\psi$$

keterangan :

$M$  = Total *Momen bending*

$M_s$  = *Momen bending* pada *still water*

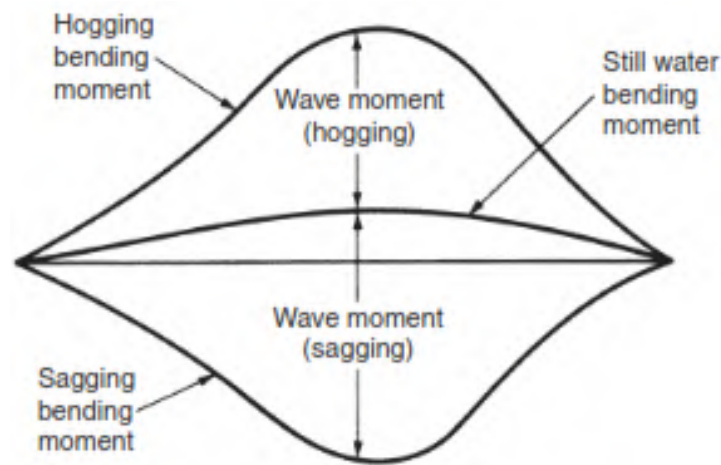
$M_w$  = *Momen bending* pada kondisi bergelombang

$M_\zeta$  = *Momen bending* yang dihasilkan oleh profil gelombang

$M_z$  = *Momen bending* yang dihasilkan oleh gerak *heaving*

$M_\psi$  = *Momen bending* yang dihasilkan oleh gerak *pitching*

Sedangkan untuk besarnya bending momen dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.13 di bawah ini:



**Gambar 2.13** Still water dan wave bending moment

(Sumber: Eric Tupper, Introduction to Naval Architecture, 2002)

Bending momen akibat *heaving* pada *calm water* dirumuskan sebagai berikut:

$$M_{\zeta} = \int \left[ \int \left( \frac{w'}{g} \omega_e^2 Z_a \right) dx + \int (2\rho g y(x) Z_a) dx \right] dx$$

*Bending momen akibat pitching pada calm water* dirumuskan sebagai berikut:

$$M_{\psi} = \int \left[ \int \left( \frac{w'}{g} \omega_e^2 \psi_a \right) dx + \int (2\rho g y(x) \psi_a) dx \right] dx$$

dengan :

$\frac{w'}{g}$  = added mass persatuan panjang kapal

$\omega_e$  = frekuensi *encountering*

$y(x)$  = *half-breadth* pada *waterplane* posisi x

$Z_a$  = amplitudo gerakan *heaving*

$\psi_a$  = amplitudo gerakan *pitching*

### 2.2.13 Tegangan Axial

Tegangan aksial (tegangan normal) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang tegak lurus terhadap penampang, yang didefinisikan sebagai:

$$\sigma = f = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

dengan:

F : gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap penampang

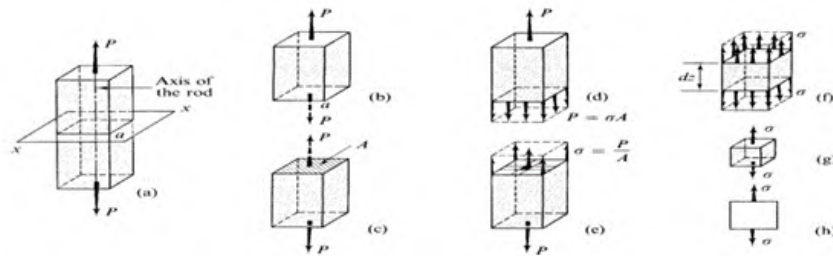
A : luas penampang

Pada batang-batang yang menahan gaya aksial saja, tegangan yang bekerja pada potongan yang tegak lurus terhadap sumbu batang adalah tegangan normal saja, tegangan geser tidak terjadi.

Arah potongan ini juga memberikan tegangan normal maksimum dibandingkan arah-arahan potongan lainnya. Apabila potongan dibuat cukup jauh dari ketidakaturan (perubahan ukuran, sambungan), ternyata tegangan terdistribusi secara seragam, sehingga untuk memenuhi keseimbangan besarnya tegangan menjadi :

$$f = \frac{F}{A} \text{ atau } \frac{\text{gaya aksial}}{\text{luas}} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Pada Gambar 2.18 dan 2.19 di bawah ini diilustrasikan gaya geser dan tegangan normal yang terjadi balok



**Gambar 2.14** Ilustrasi tegangan normal akibat gaya aksial, (+) tarik dan (-) tekan  
(Sumber: Popov 1996)

### 2.2.14 Bending Stress

Momen luar diimbangi oleh momen dalam yang merupakan resultan tegangan lentur (*bending*).

$$M = \int_A f \cdot dA \cdot y = \int_A \left( -\frac{y}{c} f_{max} \right) dA \cdot y = -\frac{f_{max}}{c} \int_A y^2 dA$$

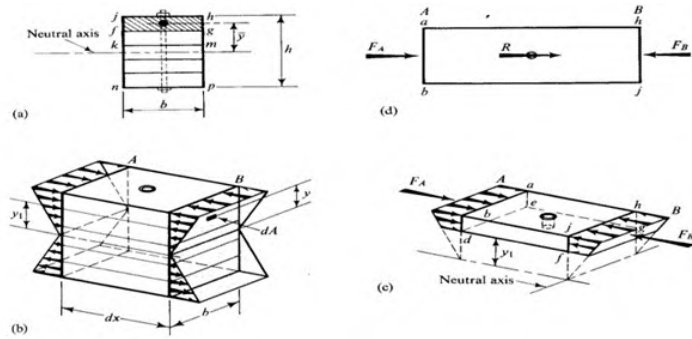
Integral  $\int_A y^2 dA = I$  adalah besaran penampang yang disebut momen *inersia* terhadap titik berat penampang. Jadi persamaan tegangan lentur menjadi:

$$M = -\frac{f_{max}}{c} I \text{ atau } f_{max} = -\frac{Mc}{I}$$

Tegangan lentur pada sembarang titik yang berjarak  $y$  dari garis netral :

$$f_{max} = -\frac{My}{I}$$

Gambar 2.15 di bawah ini menjelaskan tegangan lentur pada suatu penampang



**Gambar 2.15** Tegangan lentur (*bending*) pada suatu penampang

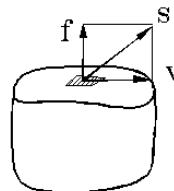
(Sumber: Popov 1996)

### 2.2.15 Tegangan Geser

Tegangan geser (*shear stress*) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang, yang didefinisikan sebagai:

$$\tau = v = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta A}$$

Dengan V adalah gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang dan A adalah luas penampang.



**Gambar 2.16** Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang

(Sumber: Popov, 1996)

Tidak sama dengan kasus tegangan aksial, kenyataannya tegangan geser yang bekerja sejajar terhadap penampang, diperoleh hubungan tegangan geser :

$$v = \frac{V}{A} \text{ atau } \frac{\text{gaya geser}}{\text{luas}} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

### 2.2.16 Tegangan Von Misses

Struktur harus mampu menahan beban-beban operasional tambahan yang terjadi dengan aman, yaitu tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan, serta pelat struktur, pelat bilah, agar tidak kehilangan stabilitasnya (tidak mengalami *buckling*). Untuk menghitung tegangan kita memakai persamaan:

$$\sigma(x, y) = \frac{M_x \cdot Y}{I}$$

dengan:

$M_x$  : Momen *bending* (ton.m)

$Y$  : Jarak normal bidang (m)

$I$  : Momen inersia bidang (m<sup>2</sup>)

Jadi harus ditentukan  $y$  yang merupakan jarak “titik berat bagian yang dihitung tegangannya” terhadap sumbu netral (garis mendatar yang melalui titik berat penampang) dan menghitung momen inersia penampang  $I_{(x)}$ . Karena penampang melintang kapal mempunyai banyak bagian, maka menghitung momen inersianya tak dapat dihitung dengan memakai rumus dasar ( $I = \frac{1}{12} b \cdot h^3$ ) dan sebaiknya dilakukan dalam bentuk tabulasi. Seperti telah dijelaskan di depan, akibat beban momen lengkung yang bekerja pada badan kapal, maka bagian penampang kapal yang mengalami tekanan dan posisinya mendatar (*horizontal*) dimasukkan kedalam perhitungan momen inersia harus sudah diperhitungkan lebar efektifnya, dengan cara seperti pada uraian di depan. Pada element tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu  $x$ ,  $y$  dan  $z$ . Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan sebagai berikut (Ansys 13.0):

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0$$

dengan:

$\sigma_0$  : Tegangan utama yang bekerja pada sumbu (Pa)

- $\sigma_x$  : Tegangan arah sumbu x (Pa)
- $\sigma_y$  : Tegangan arah sumbu y (Pa)
- $\sigma_z$  : Tegangan arah sumbu z (Pa)
- $\sigma_{xy}$  : Tegangan arah sumbu xy (Pa)
- $\sigma_{xz}$  : Tegangan arah sumbu xz (Pa)
- $\sigma_{yz}$  : Tegangan arah sumbu yz (Pa)

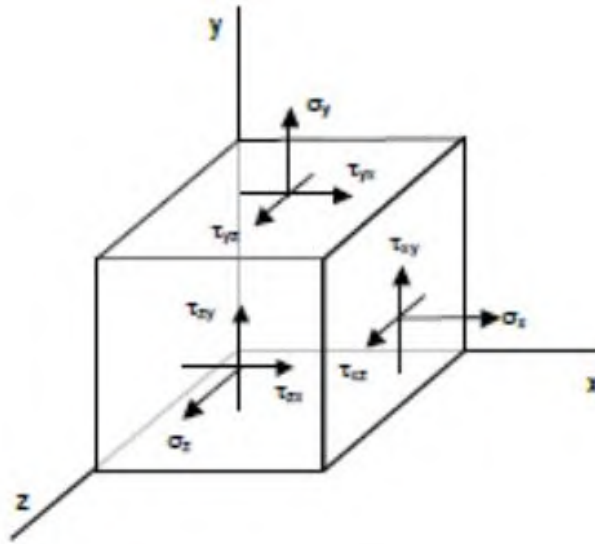
Penggabungan tegangan-tegangan utama pada suatu element merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *node* tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan *Von Mises*:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

dengan:

- $\sigma_{eq}$  : Tegangan ekuivalen (*von mises stress*) (Pa)
- $\sigma_x$  : Tegangan normal sumbu x (Pa)
- $\sigma_y$  : Tegangan normal sumbu y (Pa)
- $\sigma_z$  : Tegangan normal sumbu z (Pa)
- $\tau_{xy}$  : Tegangan geser bidang yz (Pa)
- $\tau_{yz}$  : Tegangan geser bidang zx (Pa)
- $\tau_{zx}$  : Tegangan geser bidang xy (Pa)





**Gambar 2.17** Ilustrasi tegangan von mises

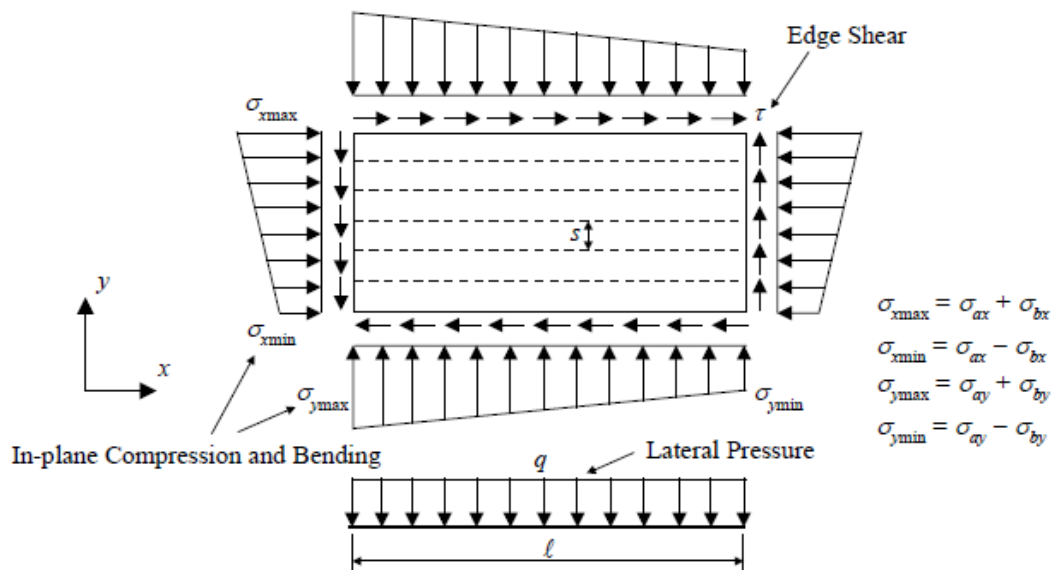
### 2.2.17 Beban-beban yang terjadi pada plat.

Berdasarkan *rules ABS Ship Building and Quality standart* deformasi maksimal dari plat berpenegar adalah sebesar 4mm. Beban-beban yang terjadi pada geladak antara lain:

- *Uniform inplane compression* ( $\sigma_{ax}$ ,  $\sigma_{ay}$ )
- *In-plane bending*, ( $\sigma_{bx}$ ,  $\sigma_{by}$ )
- *Edge shear* ( $\tau$ )
- *Lateral loads* ( $q$ )
- *Combinations of the above*

Sebagai gambaran beban-beban yang terjadi menurut ABS pada plat adalah sebagai berikut :

## Primary Loads and Load Effects on Plate and Stiffened Panel



**Gambar 2.18** Beban-beban yang Terjadi pada Plat.

### 2.2.18 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah salah satu pendekatan yang paling berharga untuk menganalisa perilaku struktur yang nonlinear. Ada beberapa metode yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan kekakuan elemen hingga nonlinear.

Dalam mekanika struktur, permasalahan linear terjadi ketika matrik kekakuan dihitung berdasarkan geometrid an properties material. Pada kasus nonlinear adalah ketika matrik kekakuan bervariasi terhadap kenaikan beban yang bekerja dan dimana vector beban bergantung pada displacement. Untuk analisa elemen hingga dari permasalahan yang berlangsung pada waktu, diekspresikan dengan

$$[R] = [k]\{U\}$$

Dimana,

$[R]$  = vector beban

$[K]$  = matrik kekakuan

$\{U\}$  = vector displacement

Baik  $[K]$  dan  $\{R\}$ , keduanya independen dari  $\{U\}$  pada analisis linear, sedang  $[K]$  dan  $\{R\}$  adalah fungsi nonlinear pada  $\{U\}$  pada analisa nonlinear.

Kenonlinearan pada mekanika struktur biasanya dibagi menjadi dua, yaitu kenonlinearan geometrid an kenonlinearan material, yang keduanya akan mempengaruhi deformasi struktur. Kenonlinearan geometri dilihat dari perubahan konfigurasi geometri. (seperti defleksi atau buckling yang besar) dan kenonlinearan material dilihat dari perubahan properties material (seperti plastisitas). Pada transfer panas, kenonlinearan dapat meningkat terhadap suhu, tergantung dari konduktivitas atau radiasi, dimana kekakuan matriks adalah fungsi nonlinear terhadap suhu.

Ada beberapa metode yang digunakan dalam analisa nonlinear :

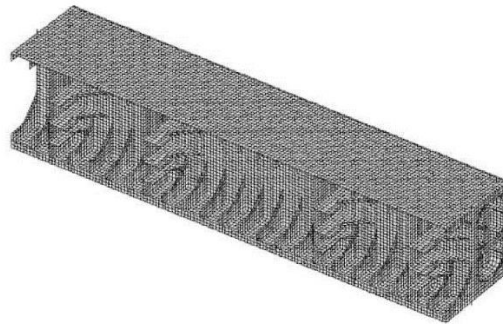
- a. Metode Langsung
- b. Metode Newton-Ramphson
- c. Metode Newton-Ramphson modifikasi
- d. Metode Panjang Busur

dalam dunia engineering ada 3 macam bentuk elemen yang digunakan dalam perhitungan pada elemen hingga, elemen tersebut adalah membran, shell, maupun elemen solid. Elemen membran adalah elemen datar yang memiliki 2 dimensi, pada umumnya element ini berbentuk segitiga maupun segiempat, pada elemen yang berbentuk segitiga, biasanya dimodelkan dengan 3 hingga 6 node, sedangkan pada segi empat dimodelkan dari 4 hingga 9 node, element ini memiliki 2 arah perpindahan derajat kebebasan pada tiap node yang terdapat didalam element. element ini biasa digunakan untuk memodelkan permasalahan elastisitas dengan 2 dimensi, arah tegangan dan arah regangan. itu bisa menghasilkan 2 normal force dan 1 shear stress pada element. elemen membran tidak memiliki rotational stifness maupun stiffness normal yang menuju arah dari elemen.

### **2.2.19 Boundary Condition dan Meshing**

*Boundary condition* atau kondisi batas sangatlah penting dalam proses analisis suatu struktur. *Boundary condition* sendiri dapat terbagi menjadi 3 bagian utama, yaitu *inertial*,

*loads*, dan *supports*. *Boundary condition* tipe *inertial* diantaranya yaitu percepatan, *standard earth gravity*, dan kecepatan rotasi. Kemudian *Boundary condition* tipe *loads* diantaranya yaitu tekanan (*pressure*), gaya, momen, dan lain-lain. Sedangkan *boundary condition* tipe *support* diantaranya adalah *fixed supports*, *displacement*, dan lain-lain. *Boundary condition* sendiri dapat kita aplikasikan sesuai dengan analisis yang akan kita lakukan. Seperti contohnya pada sebuah geometri struktur, *boundary condition* dapat diterapkan pada struktur sebagai *body*, *face*, *edge*, maupun titik sesuai dengan kondisi analisis yang ingin kita lakukan. Pembuatan *mesh* sangat diperhatikan ukuran *mesh* dan jenis *mesh* yang digunakan, semakin kecil ukuran *mesh* yang digunakan pada model, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *mesh* yang memiliki ukuran yang lebih besar. Oleh karena itu, besar ukuran *mesh* harus diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh hasil yang teliti. Dalam BKI “*Guidelines for Floating Production Installations*, 2013” ukuran *mesh* telah diatur sesuai dengan elemen-elemen yang akan ditinjau, seperti *plate element*, *beam elements for stiffeners*, *truss elements for stiffeners*. Untuk elemen *stiffener*, ukuran *mesh* minimum yang dianjurkan sebesar 0,5 dari tebal *stiffener*. Contoh pembuatan *mesh* pada konstruksi kapal dapat dilihat pada Gambar 2.19 di bawah ini.

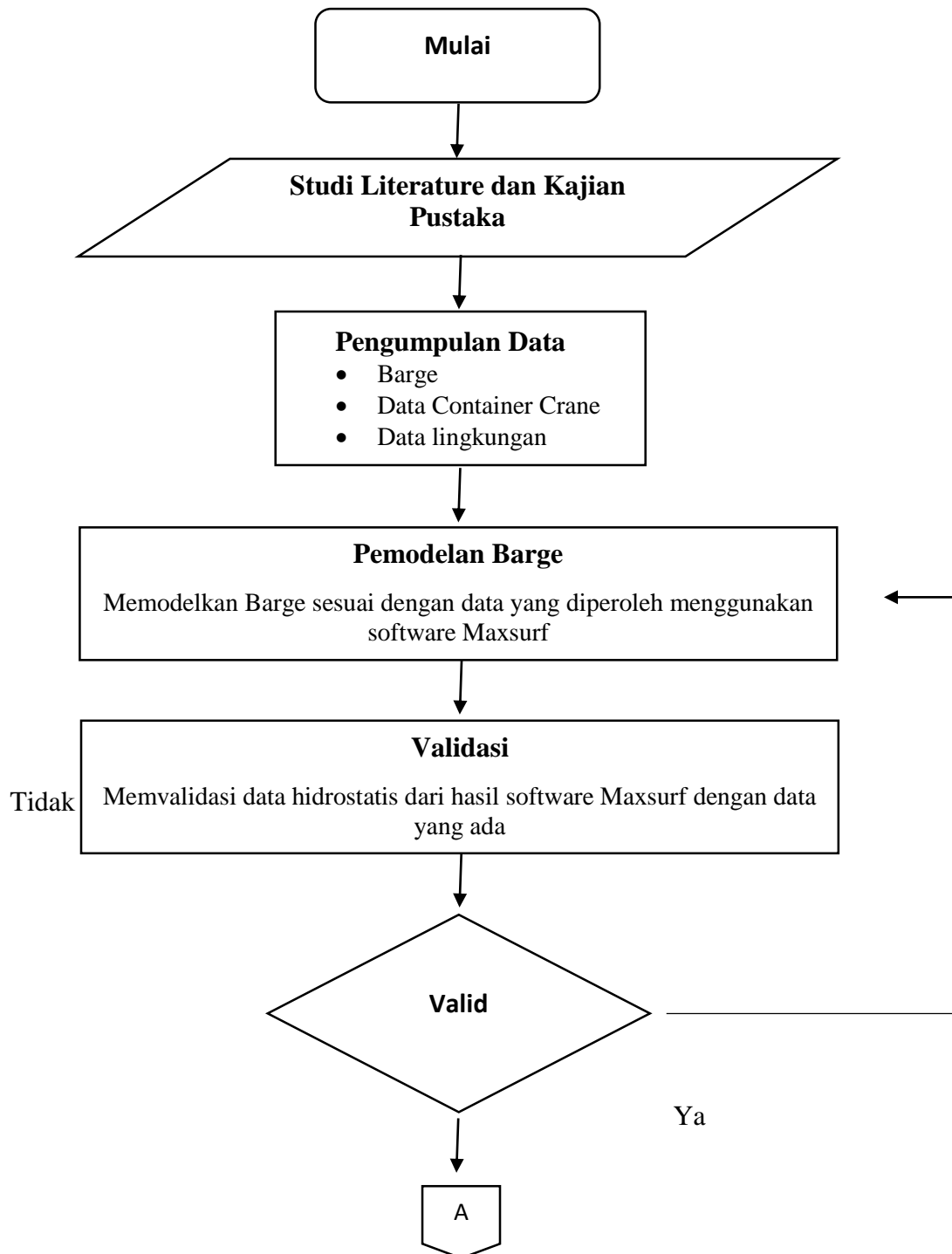


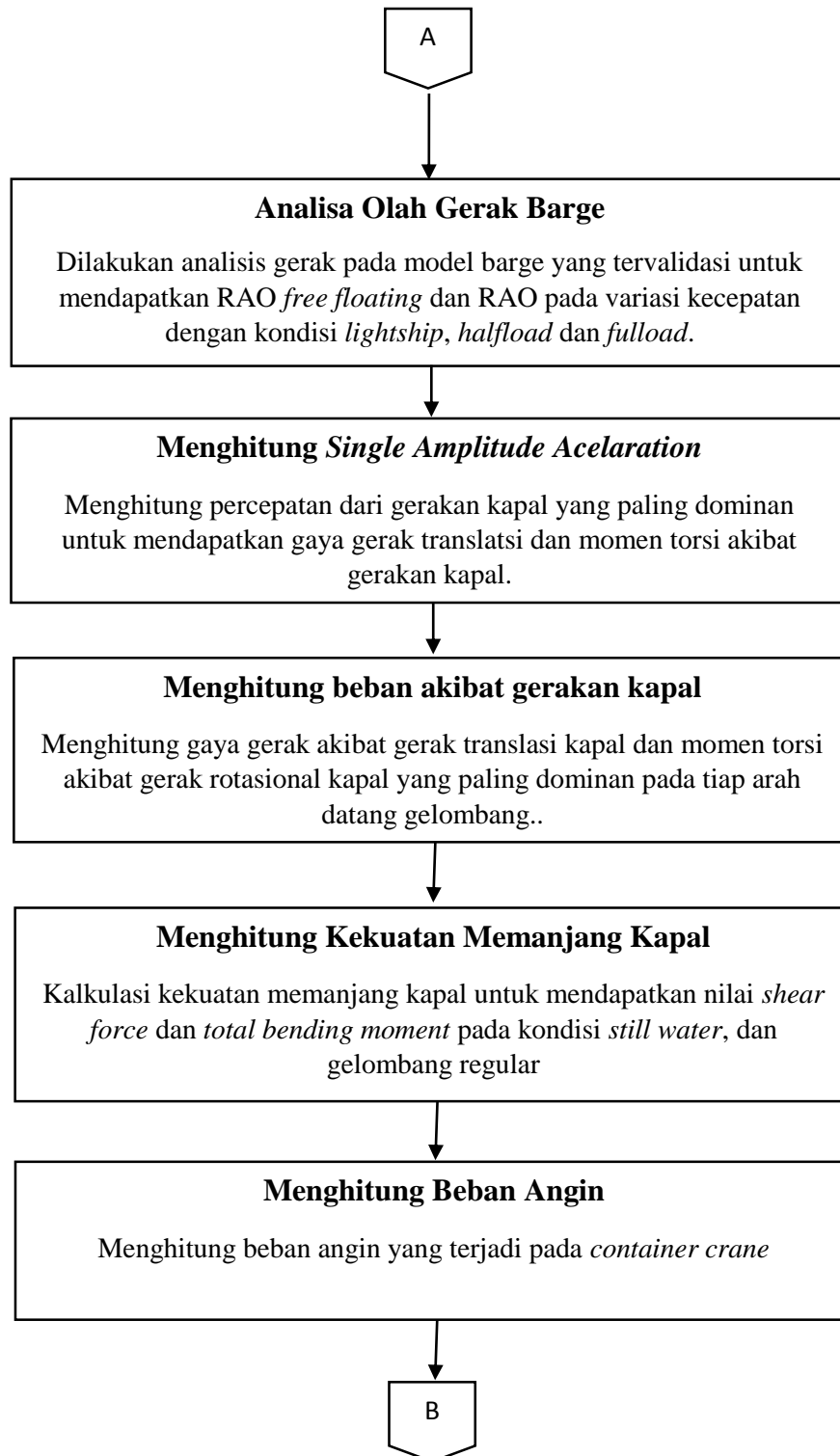
**Gambar 2.19** Pembuatan *mesh* pada konstruksi kapal.

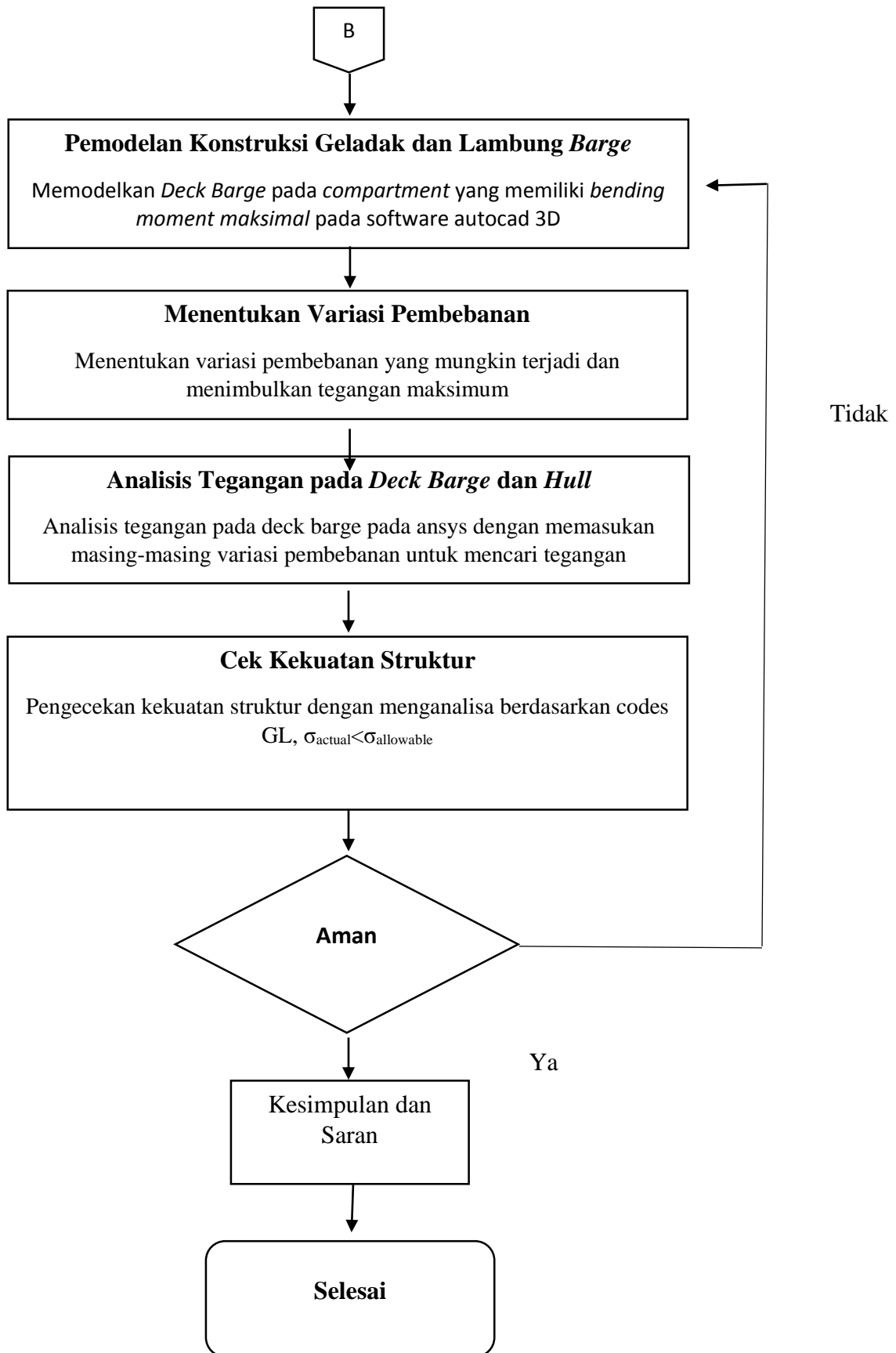
# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN DAN PEMODELAN

### 3.1 Alur Penelitian







### 3.2 Prosedur Penelitian

Sesuai Gambar 4.1, Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan – tahapan sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

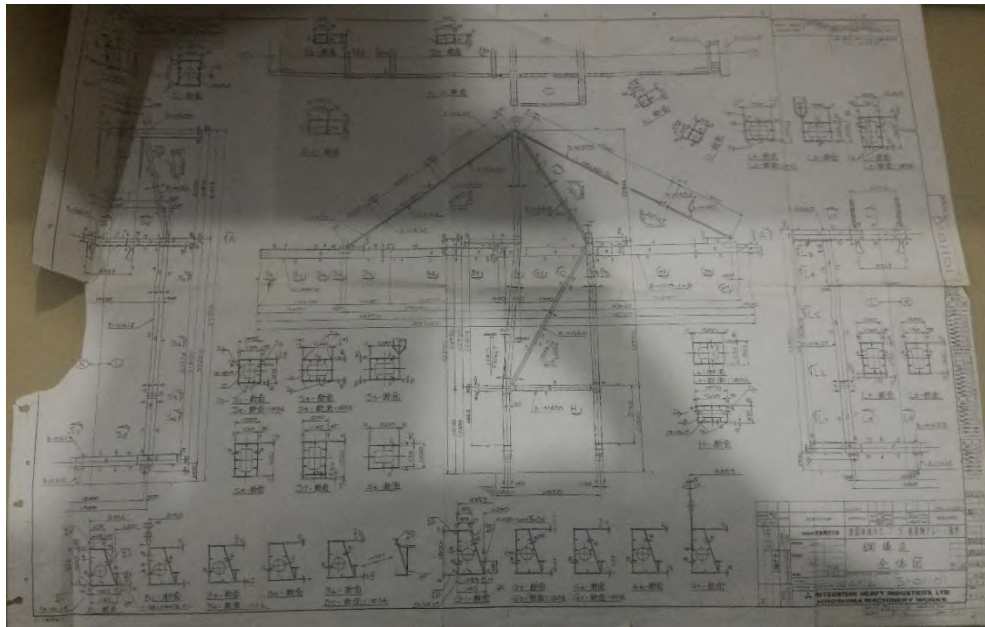
Pada tugas akhir ini mengambil bahan-bahan yang dibutuhkan sebagai studi literatur dari buku, materi perkuliahan, jurnal, dan juga mengacu dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mempunyai keterkaitan pembahasan sebagai acuan dasar teori yang digunakan, selain itu juga pada penelitian ini mengacu pada *standart* maupun *code* yang relevan.

#### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan Data Barge PAS – 26011 TK, data hidrostatik Barge PAS – 26011 TK, data container crane dan data lingkungan yang didapatkan dari PT. Gama Inti Samudera.

##### a. Data *General Arrangement Container Crane*.

Berikut gambar model dari *container crane* Pelindo III Indonesia, dengan tinggi 70 m:

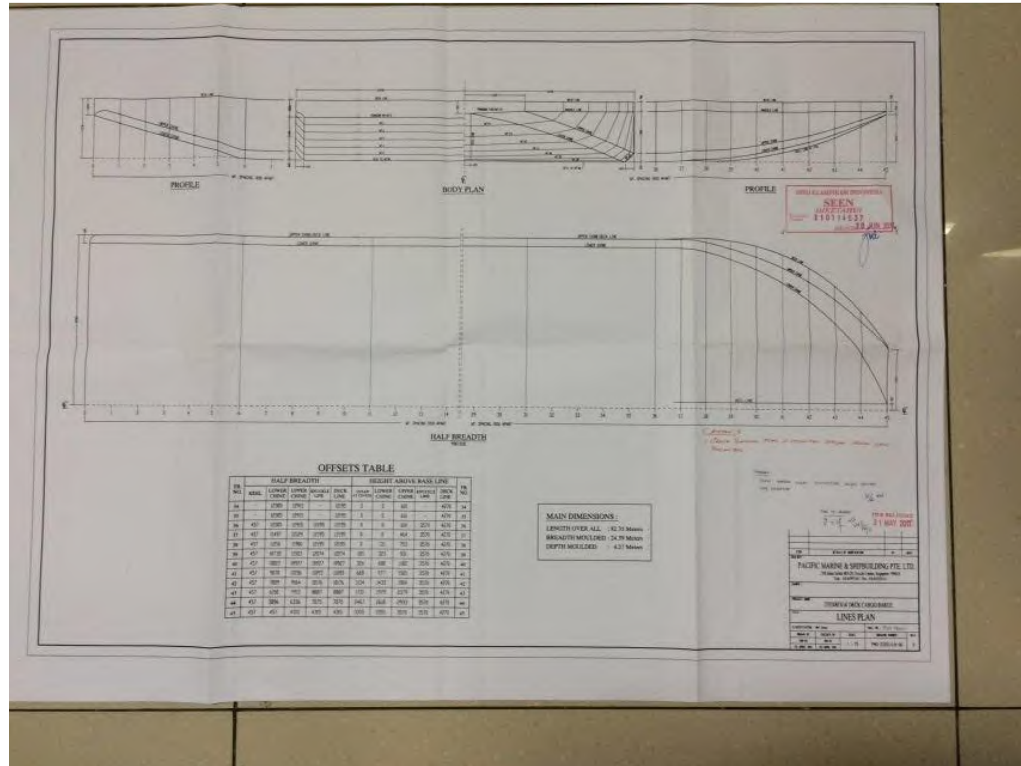


**Gambar 3.1** General arrangement *container crane* PT.BJTI.



b. Data *Barge PAS – 26011 TK*.

Berikut adalah gambar model dari *barge PAS – 26011 TK* :



**Gambar 3.2** General arrangement *barge PAS – 26011 TK*.

Dengan ukuran sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Dimensi ukuran dari *Barge PAS – 26011 TK*

Description	Data
LOA	81,350 m
Breadth (B) Moulded	24,39 m
Height (H) Moulded	4,270 m
Summer Draft	3,0 m
Lightship Weight	902 tonnes
Loaded Displacement	5203 tonnes

c. Data *Stability Booklet Barge PAS – 26011 TK*

**Tabel 3.2** *Stability Booklet Hydrostatics Data Barge PAS - 26011 TK*

	Draft amidship (m)	Displace ment (tonne)	KMt	KMI	TPc	MTc
1	0.3	431.9	163.824	1140.246	15.187	59.585
2	0.4	585	125.327	982.863	15.519	62.483
3	0.5	743	102.44	738.005	15.907	66.184
4	0.6	904	87.475	631.372	16.201	68.81
5	0.7	1067	74.96	551.328	16.385	70.086
6	0.8	1232	65.744	500.018	16.621	74.141
7	0.9	1399	58.81	453.101	16.787	76.25
8	1	1568	52.983	415.58	16.942	78.299
9	1.1	1738	48.285	387.5	17.126	80.832
10	1.2	1910	44.502	367.011	17.352	84.18
11	1.3	2084	41.203	341.052	17.433	85.244
12	1.4	2259	38.372	323.054	17.584	87.465
13	1.5	2436	35.956	309.075	17.762	90.17
14	1.6	2615	33.895	297.187	17.944	93.002
15	1.7	2794	32.029	281.745	18.024	94.159
16	1.8	2975	30.375	271.255	18.169	96.466
17	1.9	3156	28.877	262.464	18.325	99.013
18	2	3342	27.633	255	18.483	101.598
19	2.1	3527	26.447	244.873	18.575	103.059
20	2.2	3714	25.341	237.814	18.708	105.324
21	2.3	3902	24.428	232.399	18.869	108.089
22	2.4	4091	23.542	226.323	18.998	110.316
23	2.5	4282	22.74	220.022	19.106	112.174
24	2.6	4473	22.005	215.396	19.245	114.685
25	2.7	4666	21.323	210.65	19.371	116.947
26	2.8	4851	20.698	205.903	19.485	119.013
27	2.9	5056	20.121	202.023	19.641	121.418
28	3	5253	19.584	198.326	19.74	123.785
29	3.1	5451	19.056	193.488	19.818	125.245
30	3.2	5649	18.53	187.884	19.856	125.96
31	3.3	5848	18.043	182.763	19.897	126.755
32	3.4	6047	17.565	177.83	19.933	127.45
33	3.5	6247	17.155	172.961	19.961	127.961
34	3.6	6446	16.75	168.052	19.975	128.209
35	3.7	6646	16.358	163.14	19.977	128.217
36	3.8	6846	15.99	158.489	19.977	128.204
37	3.9	7046	15.646	154.104	19.977	128.194
38	4	7245	15.323	149.964	19.977	128.126
39	4.1	7445	15.021	146.049	19.977	128.181
40	4.2	7645	14.737	142.341	19.977	128.176

d. Data *Linesplan Barge PAS – 26011 TK*

WF. SPACING 1830 APART

**HALF BREADTH**  
PORTSIDE

**OFFSETS TABLE**

FR. NO.	HALF BREADTH					HEIGHT ABOVE BASE LINE					FR. NO.
	KEEL	LOWER CHINE	UPPER CHINE	KNUCKLE LINE	DECK LINE	CUT-UP AT CENTER	LOWER CHINE	UPPER CHINE	KNUCKLE LINE	DECK LINE	
34	-	12305	12915	-	12195	0	0	610	-	4270	34
35	-	12305	12915	-	12195	0	0	610	-	4270	35
36	457	12305	12915	12195	12195	0	0	610	3570	4270	36
37	457	11497	12129	12195	12195	0	0	464	3570	4270	37
38	457	11216	11900	12195	12195	0	121	753	3570	4270	38
39	457	10732	11503	12074	12074	105	323	931	3570	4270	39
40	457	10027	10927	10927	10927	326	608	1182	3570	4270	40
41	457	9070	10156	11093	11093	668	977	1505	3570	4270	41
42	457	7809	9164	10176	10176	1134	1433	1904	3570	4270	42
43	457	6150	7913	8887	8887	1731	1979	2379	3570	4270	43
44	457	3896	6336	7075	7075	2467	2618	2933	3570	4270	44
45	457	457	4315	4315	4315	3355	3355	3570	3570	4270	45

**Gambar 3.3** Data *Offsets Table Barge PAS – 26011 TK*

e. Data Lingkungan.

$$H_s = 2.00 \text{ m}$$

$$T = 5 \text{ s}$$

$$\text{Kecepatan Angin} = 12 \text{ m/s}$$

3. Pemodelan Barge

Memodelkan ukuran dan model Barge PAS – 26011 TK sesuai data yang diperoleh dengan menggunakan Maxsurf Modeller.

4. Validasi Model Barge PAS – 26011 TK

Memvalidasi data hidrosatis Barge PAS – 26011 TK pada hasil *output* MAXSURF dengan data hidrosatis yang sudah didapatkan dari pengumpulan data, untuk mengetahui apakah model barge yang kita modelkan pada MAXSURF sesuai dengan model kapal yang sebenarnya dengan standart eror di bawah 2%.

5. Analisis Gerak Barge

Menganalisis respon gerak barge dengan variasi muatan *lightship*, *halfload*, dan *fullload*. Pada kondisi *free floating* dan variasi kecepatan 1,2, dan 3 knots. Untuk mendapatkan gerakan yang dominan pada masing masing *heading*.

6. Menghitung *Single Amplitude Acelaration*

Menghitung percepatan dari gerakan kapal yang dominan pada masing masing *heading*, dimana nilai percepatan akan digunakan untuk mencari beban akibat gerakan kapal.

7. Menghitung beban akibat gerakan kapal.

Menghitung gaya inersia yang terjadi karena gerakan translasi dan rotasi berdasarkan gerakan yang paling dominan pada masing masing *heading*.

8. Menghitung kekuatan memanjang kapal.

Dilakukan analisis kekuatan memanjang kapal pada kondisi perairan *still water*, dan *regular wave*. Kemudian dilakukan perhitungan *shear force* dan *total bending moment* dengan muatan *halfload*

9. Menghitung beban angin

Menghitung beban yang diakibatkan oleh angin, dimana dari beban yang di timbulkan oleh angin akan dapat menghitung momen akibat gaya angin.

10. Pemodelan konstruksi geladak dan lambung *barge*

Pemodelan konstruksi geladak dan lambung *barge* dimana konstruksi pada lambung yang mencakup *seafastening* diatas konstruksi geladak. dengan menggunakan Autocad 3D, untuk analisa tegangan yang akan dilakukan pada *software ANSYS*.

#### 11. Analisis Tegangan Pada *deck barge* dan *hull*.

Menganalisis Tegangan yang terjadi pada *deck barge* sesuai banyak *load case* berbasis data inputan beban menggunakan *ANSYS*, yang sebelumnya telah terlebih dahulu dilakukan analisis *meshing sensitivity* untuk mendapatkan inputan ukuran *meshing* struktur yang cukup sensitif dalam mendefinisikan hasil luaran tegangan terhadap inputan beban yang dihitung. Setelah itu, dilakukan analisis tegangan terhadap masing – masing *load case* yang telah dihitung terlebih dahulu beban apa saja yang berpengaruh dan ditentukan kombinasi pembebanan dari beban – beban tersebut.

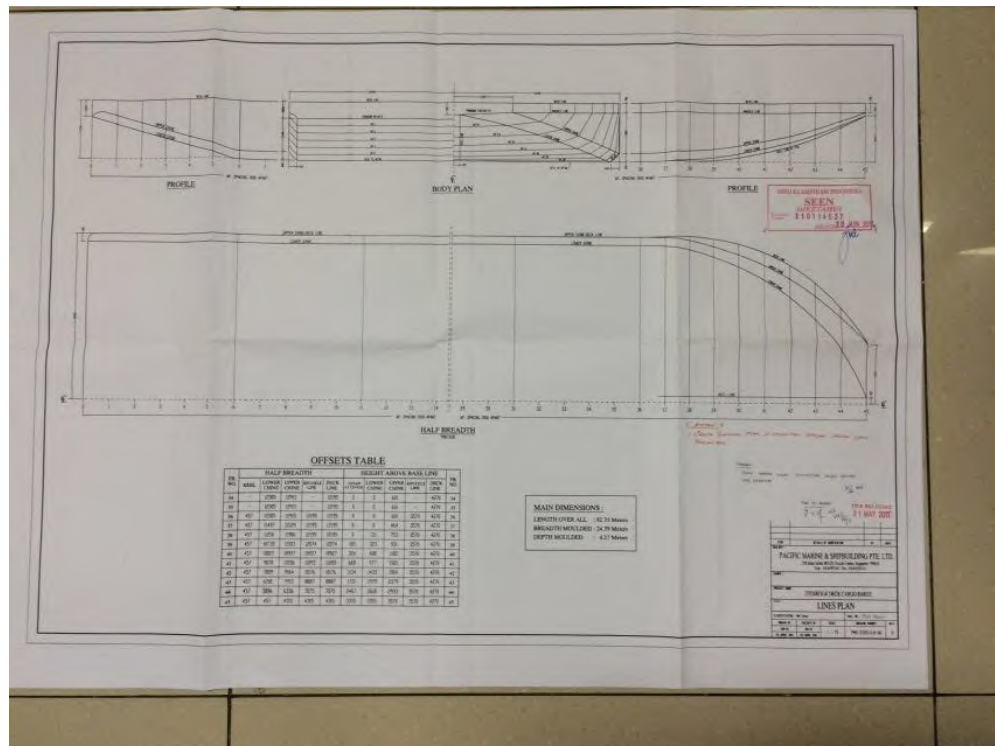
#### 12. Cek Kekuatan Struktur

Pengecekan keamanan struktur dilakukan dengan menggunakan hasil tegangan pada *loadcase* yang menghasilkan tegangan maksimum. Dari tegangan tersebut, dilakukan pengecekan dengan cara membandingkan tegangan maksimum dengan tegangan ijin, dimana hasil perbandingan tidak boleh lebih atau sama dengan satu.

## BAB IV

#### 4.1 Pemodelan Barge PAS-26011 TK

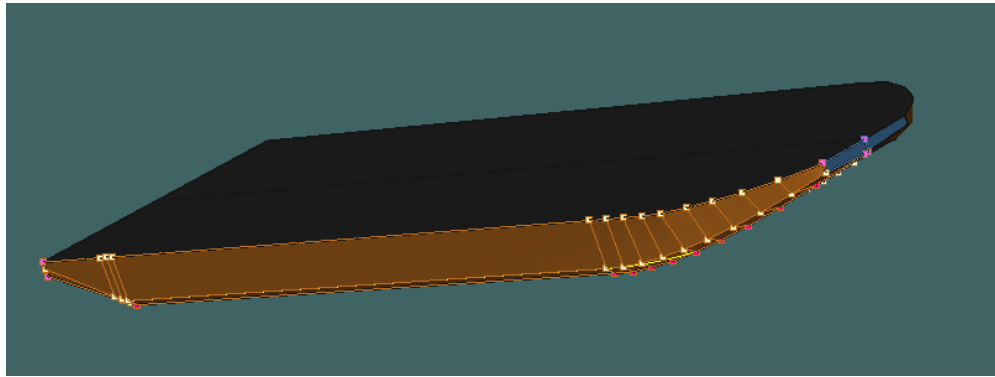
Permodelan dilakukan menggunakan *software* MAXSURF berdasarkan *principal dimension* dan koordinat-koordinat pada *barge* diambil dari *hydrostatic model* dari *booklet*. Berikut *principal dimension* dan *hydrostatic model barge* PAS – 26011 TK:



**Gambar 4.1** *Hydrostatic Model Barge PAS – 26011 TK*

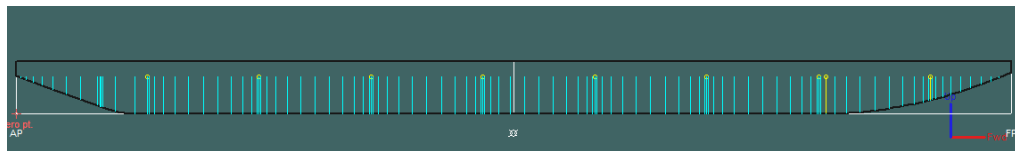
(sumber: Stability Booklet PAS – 26011 TK PT. Nadwell)

Dari hasil permodelan struktur *barge* dengan menggunakan *software* didapatkan hasil hidrostatik dari *barge* yang kemudian di validasi dengan data hidrostatik pada *booklet*. Validasi barge dilakukan dengan 3 kondisi pembebanan, *full load*, *half load*, dan *lightship*. Berikut model yang didapat dan juga hasil hidrostatik pada *software*:

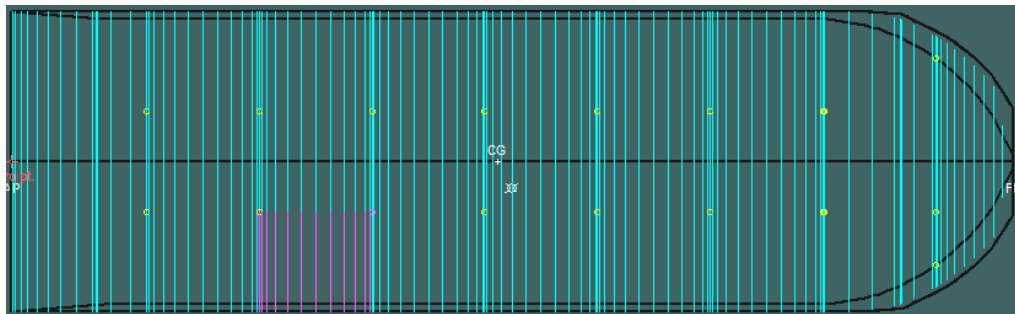


**Gambar 4.2 Permodelan Software**

Untuk variasi beban *lightship*, *halfload* dan *fullload* dilakukan dengan memodelkan dan menghitung *ballast* pada masing-masing *compartment*, dimana *compartment* pada *barge* sebanyak 26 tank. Berikut adalah hasil pemodelan *compartment* pada *software Maxsurf Stability Advanced*. Pada proses *ballasting* variasi pembebanan divalidasi dengan melihat *draft* hasil dari proses *ballasting*. Pada kondisi *lightship* sarat air yang di validasi adalah sebesar 0.6m, untuk kondisi *halfload* sarat air yang di validasi adalah sebesar 1.6m, dan untuk kondisi *fullload* sarat air yang di validasi adalah sebesar 3m. Berikut adalah hasil dari pemodelan tangki dan perhitungan *ballast* untuk masing-masing kondisi pembebanan.



**Gambar 4.3** Pemodelan Tangki Tampak Samping.



**Gambar 4.4** Pemodelan Tangki Tampak Atas.

**Tabel 4.1** *Loadcase Lightship*[illegible]



**Tabel 4.2** *Loadcase Halfload*[illegible]

**Tabel 4.3** *Loadcase Fulload*

[illegible]

**Tabel 4.4** Hasil Validasi Kondisi *Full load* pada *Software* dan *Booklet*

VALIDASI BARGE KONDISI FULL LOAD					
Data	Hasil Pemodelan		Hidrostatik		%
Displacement	5223	ton	5253	ton	0.571102
KMT	19.448	meter	19.584	meter	-0.6993
KML	192.08	meter	192.326	meter	0.127908
TPI	19.486	tonne/cm	19.74	tonne/cm	1.286727
MCT	117.367	tonne	123.785	tonne	5.184796

**Tabel 4.5** Hasil Validasi Kondisi *Half load* pada *Software* dan *Booklet*.

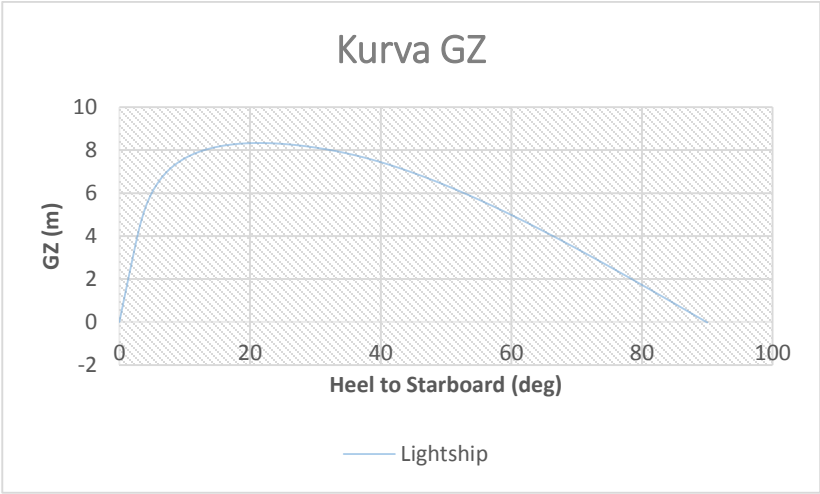
VALIDASI BARGE KONDISI LIGHTSHIP					
Data	Hasil Pemodelan		Hidrostatik		%
Displacement	900	ton	904	ton	-0.44248
KMT	88.054	meter	88.475	meter	0.478116
KML	630.629	meter	631.372	meter	0.11768
TPI	16.193	tonne/cm	16.201	tonne/cm	0.04938
MCT	69.878	tonne	68.81	tonne	-1.5521

**Tabel 4.6** Hasil Validasi Kondisi *Light Ship* pada *Software* dan *Booklet*.

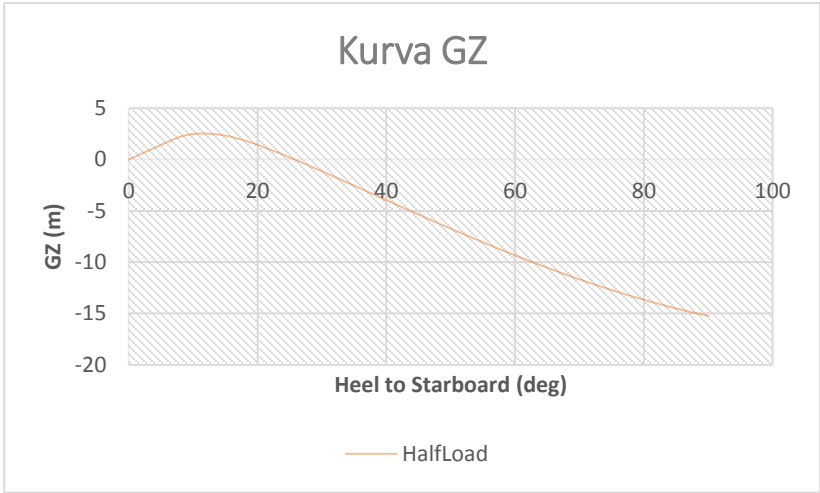
VALIDASI BARGE KONDISI HALFLOAD					
Data	Hasil Pemodelan		Hidrostatik		%
Displacement	2605	ton	2615	ton	0.382409
KMT	33.938	meter	33.895	meter	0.126702
KML	291.031	meter	291.187	meter	0.053574
TPI	17.803	tonne/cm	17.944	tonne/cm	0.785778
MCT	87.711	tonne	92.002	tonne	4.664029

## 4.2 Analisa Stabilitas

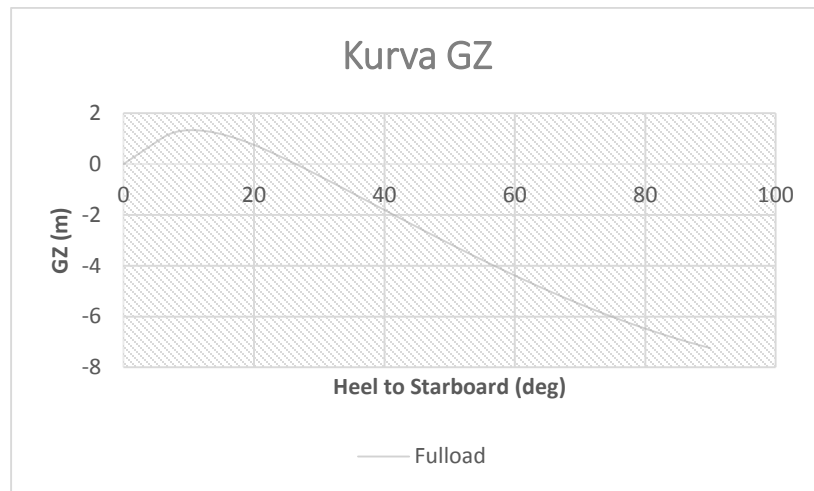
Analisa stabilitas dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf stability*. Analisa ini dilakukan dengan 3 macam kondisi pembebanan, *fullload*, *halfload*, dan *lightship*. Pada standard IMO A(749) pada *section 4*, untuk kapal pontoon dengan panjang kurang dari 100m sudut yang harus diperhatikan adalah sudut di bawah  $20^0$ . Untuk luasan di bawah kurva GZ (*righting arm*) lebih dari 0.08 m.rad. Berikut hasil analisa stabilitas menggunakan *software Maxsurf Stability* :



**Gambar 4.5** Kurva GZ kondisi *Lightship*



**Gambar 4.6** Kurva GZ kondisi *Halfload*

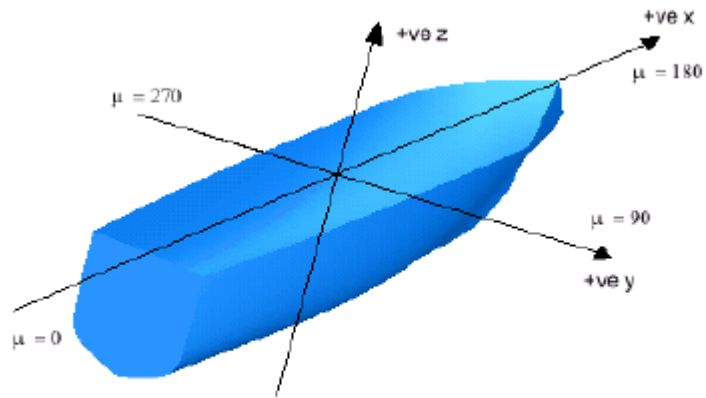


**Gambar 4.7** Kurva GZ kondisi *Fullload*

Pada *standard IMO A(749)* dijelaskan bahwa, untuk kapal *pontoon* luasan daerah di bawah kurva GZ (*righting arm*) maksimum harus lebih dari 0.08 m.rad dan sudut yang diperhatikan adalah sudut hingga  $20^{\circ}$ . Pada kondisi *lightship* bisa di lihat pada grafik, GZ maksimum berada pada *degree of heel*  $21^{\circ}$  dengan GZ sebesar 8.338 m dan luasan area di bawah kurva sebesar 2.4686 m.rad. Pada kondisi *halfload*, GZ maksimum berada pada *degree of heel*  $12^{\circ}$  dengan GZ sebesar 2.532 m luasan area di bawah kurva sebesar 0.33 m.rad. Kemudian pada kondisi *fullload* GZ maksimum berada pada *degree of heel*  $11^{\circ}$  dengan GZ sebesar 1.335 m dann luasan area di bawah kurva sebesar 0.1641 m.rad. Dari 3 macam kondisi pembebanan yang telah dilakukan luasan area di bawah kurva GZ lebih dari 0.08 m.rad, sehingga untuk stabilitas sudah sesuai dengan standard.

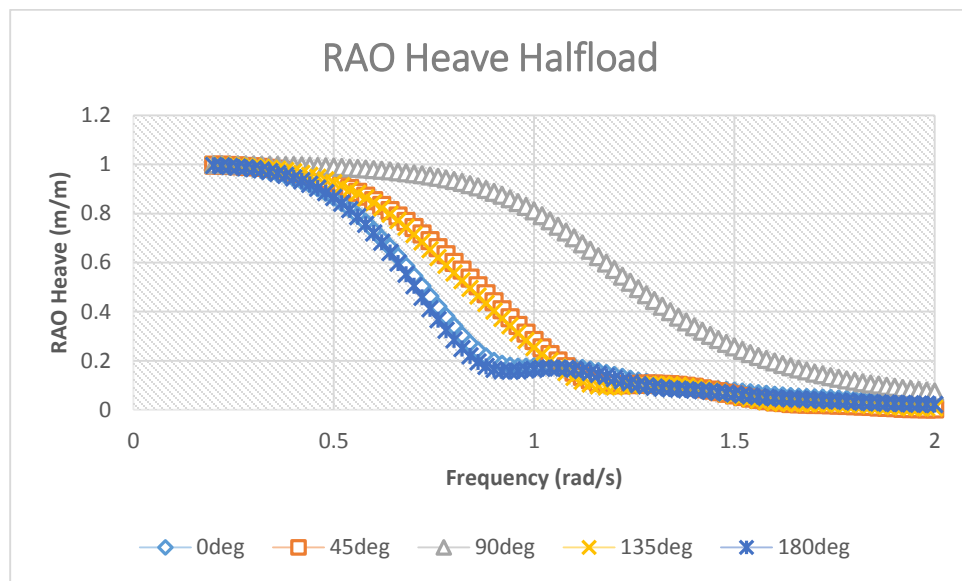
#### **4.3 Response Amplitude Operator Barge pada kecepatan 0 knot (diam)**

Analisa RAO *barge* pada kondisi *stasioner* dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf Motion Advance*. Dimana analisa yang dilakukan adalah pada kondisi *halfload* dan *fullload*. Berikut adalah RAO hasil analisa dengan menggunakan *software Maxsurf Motion Advance*.

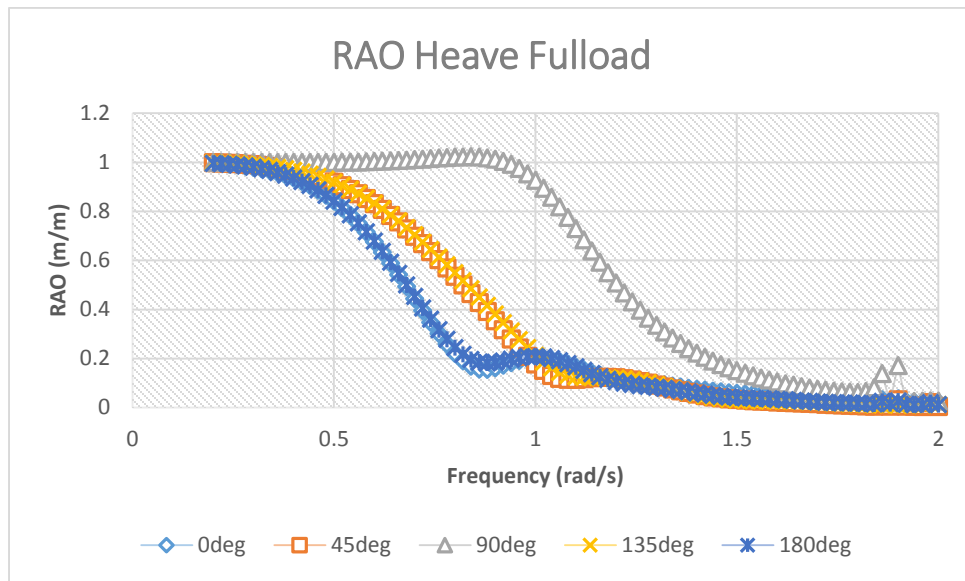


Wave direction is measured relative to the vessel track and is given the symbol  $\mu$ . Thus following waves are at  $\mu = 0^\circ$ ; starboard beam seas are  $90^\circ$ ; head seas  $180^\circ$  and port beam seas  $270^\circ$ .

**Gambar 4.8** Ilustrasi Arah Datang Gelombang Untuk Analisa Gerak Kapal

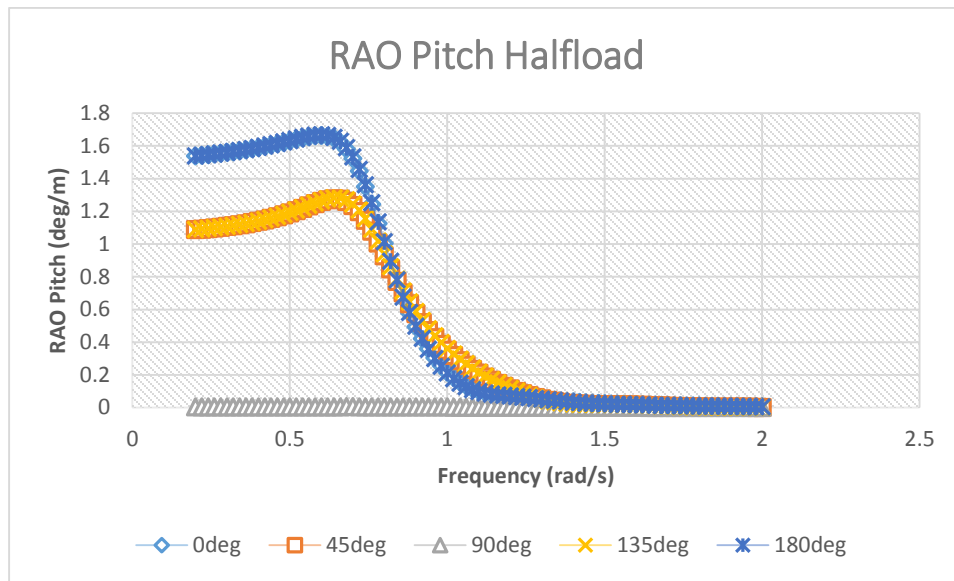


**Gambar 4.9** Response Amplitude Operator gerakan heave pada kondisi muatan halfload.

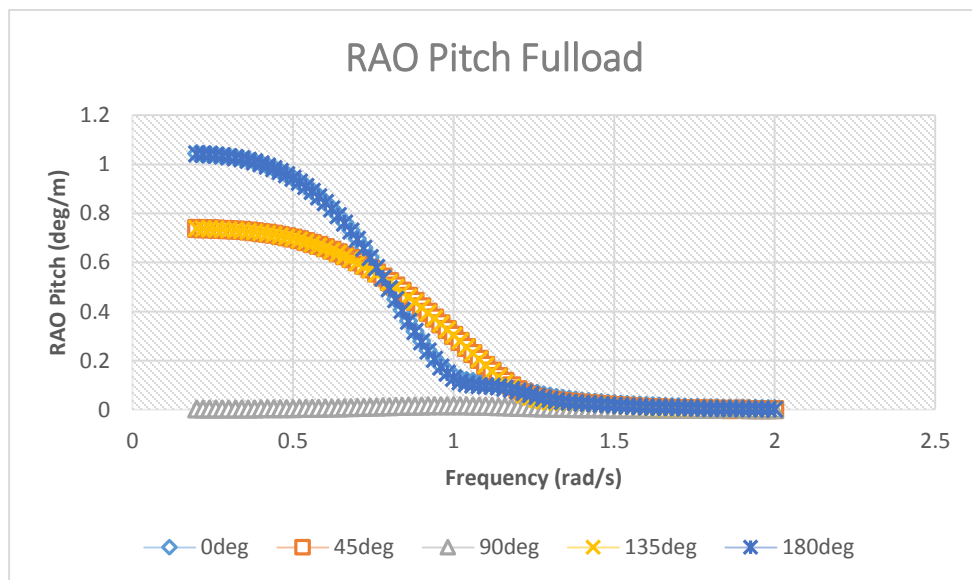


**Gambar 4.10.** *Response Amplitude Operator* gerakan *heave* pada kondisi muatan *fullload*.

Pada gambar 4.9 dan 4.10 diatas bisa dilihat RAO gerakan *heave* pada 5 arah datang gelombang. Grafik RAO gerakan *heave* cenderung membentuk kurva menurun. Dimana gerakan yang dominan terjadi pada saat arah datang gelombang  $90^0$ , bisa dilihat bahwa pada arah datang gelombang  $90^0$  penurunan nilai RAO pada kenaikan frekuensi tidak terlalu signifikan dengan nilai RAO 0.999 m/m pada frekuensi 0.2 rad/s yang kemudian nilai RAO menurun berdasarkan kenaikan frekuensi pada kondisi *halfload*. Pada kondisi *fullload* pada arah datang  $90^0$  gerakan *heave* dominan terjadi pada frekuensi 0.84 rad/s dengan nilai sebesar 1.0223 m/m.



**Gambar 4.11** *Response Amplitude Operator* gerakan *pitch* pada kondisi muatan *halfload*.

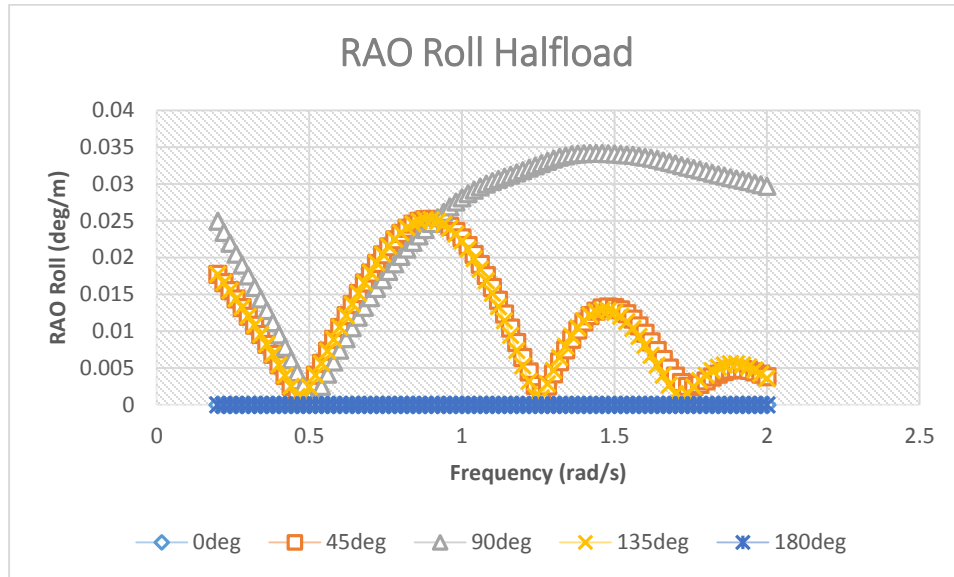


**Gambar 4.12** *Response Amplitude Operator* gerakan *pitch* pada kondisi muatan *fullload*.

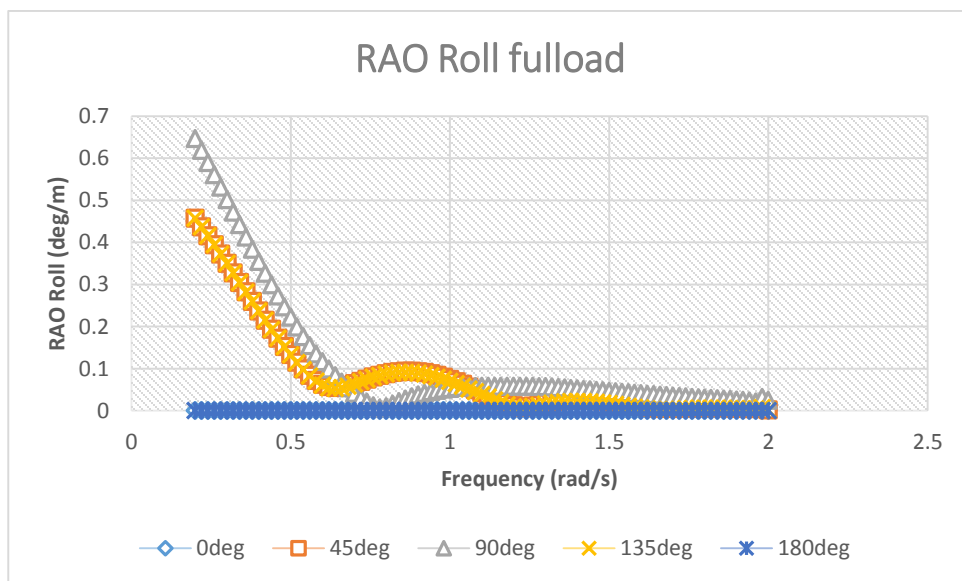
Pada gambar 4.11 dan 4.12, dapat kita lihat bahwa gerakan *pitch* terjadi pada arah datang gelombang  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ , dan  $180^{\circ}$ . Gerakan *pitch* yang dominan dari *barge* terjadi pada arah datang  $180^{\circ}$ , yang mana pada arah datang  $180^{\circ}$  dan kondisi *halfload* tersebut nilai RAO puncak sebesar 1.6678 rad/m pada frekuensi 0.6 deg/s. Setelah nilai RAO naik



hingga puncak, kemudian nilai RAO turun seiring dengan kenaikan frekuensi di atas 0.6 rad/s pada kondisi *fullload* gerakan *pitch* yang dominan juga terjadi pada arah datang 180<sup>0</sup> di frekuensi 0.2 rad/s dengan nilai sebesar 1.043 deg/m yang kemudian menurun berdasarkan kenaikan frekuensi.

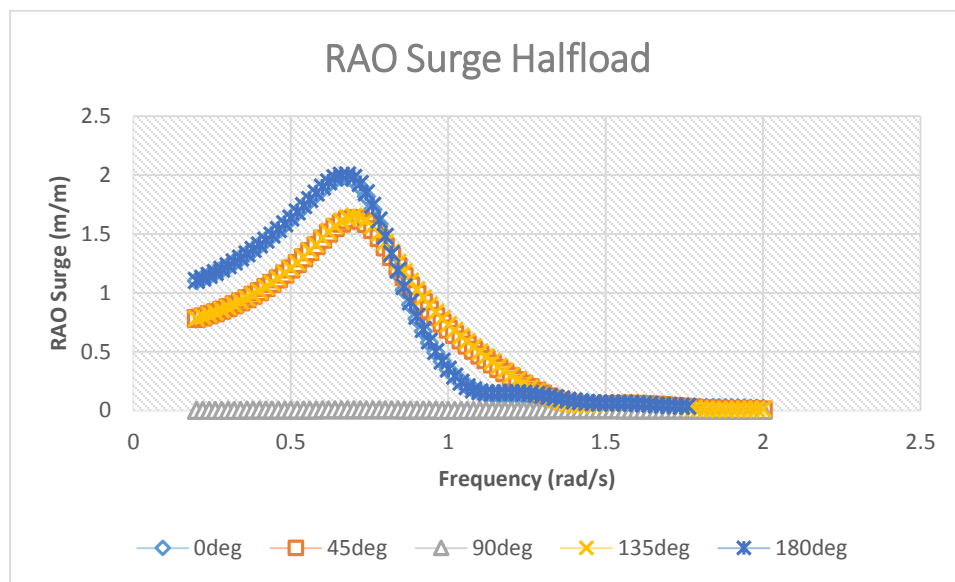


**Gambar 4.13** *Response Amplitude Operator* gerakan *roll* pada kondisi muatan *halfload*.

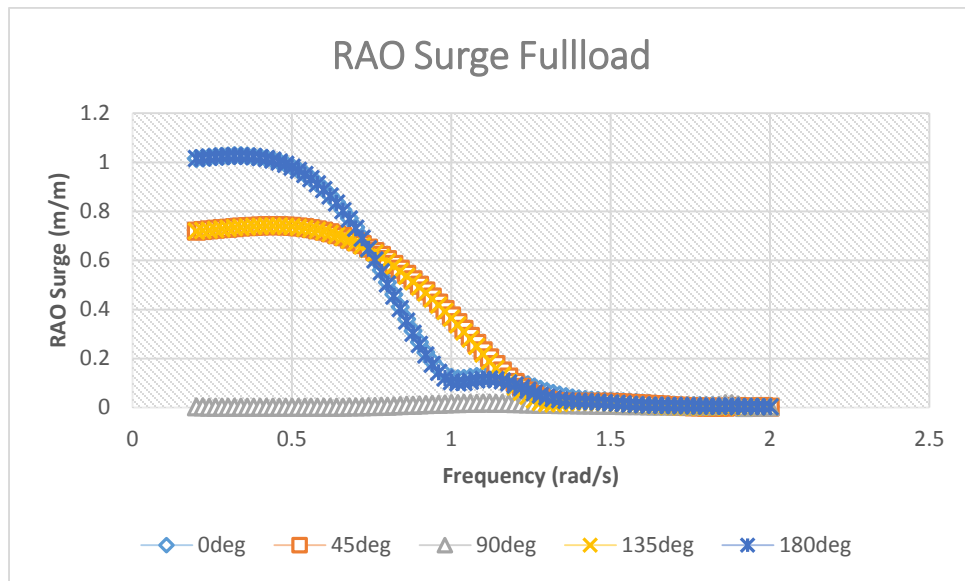


**Gambar 4.14** *Response Amplitude Operator* gerakan *roll* pada kondisi muatan *fullload*.

Pada gambar 4.13 dan 4.14, gerakan *barge* dari grafik RAO terjadi pada arah datang gelombang  $45^0$ ,  $90^0$ , dan  $135^0$ . Gerakan *roll* yang terjadi tidak signifikan, namun gerakan yang dominan terjadi pada arah  $90^0$ . Puncak gerakan *roll* pada saat arah datang gelombang  $90^0$  terjadi pada frekuensi 1.44 rad/s dengan nilai RAO sebesar 0.0344 deg/m. Pada kondisi *fullload* nilai terbesar terjadi pada frekuensi 0.2 rad/s dengan nilai sebesar 0.6466 deg/m yang kemudian menurun berdasarkan kenaikan frekuensi, kemudian nilai RAO naik kembali pada frekuensi 0.7 rad/s, kemudian puncak RAO kedua berada pada frekuensi 1.2 rad/s dengan nilai sebesar 0.0582 deg/m.

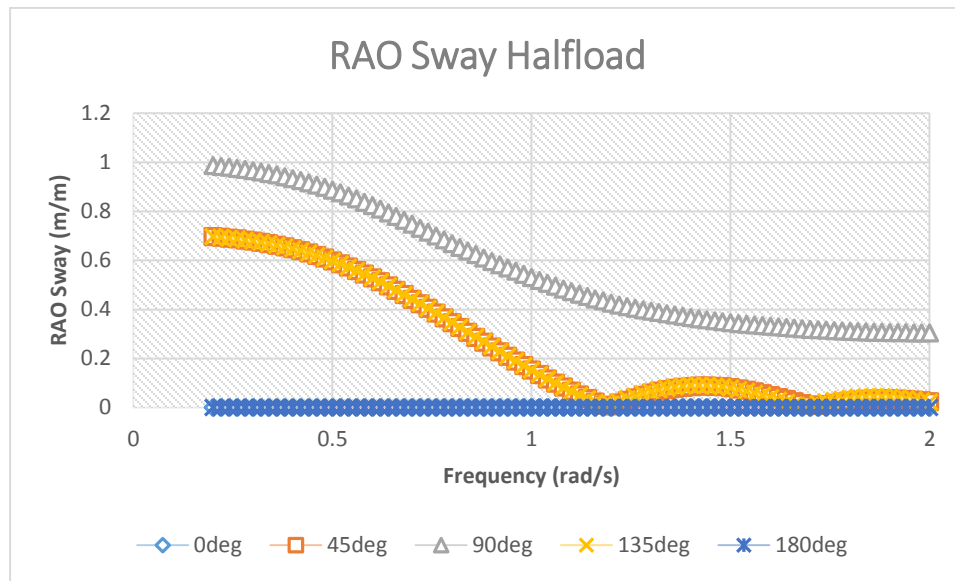


**Gambar 4.15** *Response Amplitude Operator* gerakan *surge* pada kondisi muatan *halfload*.

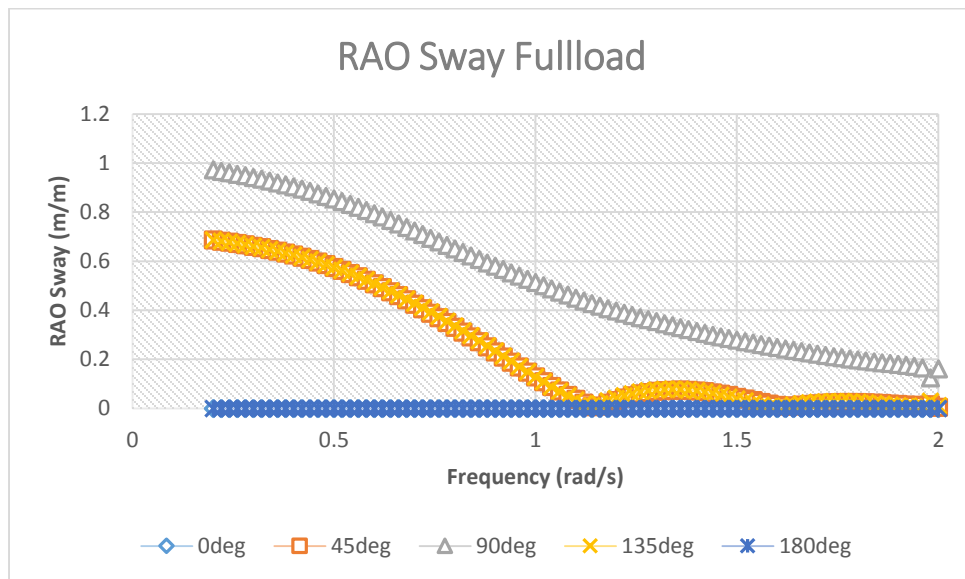


**Gambar 4.16** *Response Amplitude Operator* gerakan *surge* pada kondisi muatan *fullload*.

Untuk gerakan *surge barge*, bisa kita lihat pada gambar 4.15 dan 4.16. Dimana gerakan *surge* terjadi pada arah datang gelombang  $0^0$ ,  $45^0$ ,  $135^0$ , dan  $180^0$ . Gerakan *surge* yang dominan terjadi pada arah datang gelombang  $0^0$  dan  $180^0$ , pada arah datang gelombang  $0^0$  puncak RAO berada pada frekuensi 0.68 rad/s dengan nilai sebesar 1.9785 m/m. Pada arah datang gelombang  $180^0$  puncak RAO terjadi pada frekuensi 0.68 rad/s dengan nilai sebesar 2.0024 m/m. Pada kondisi *fullload* nilai RAO terbesar terjadi pada arah datang  $180^0$  dengan nilai sebesar 1.0256 m/m pada frekuensi 0.32 rad/s.



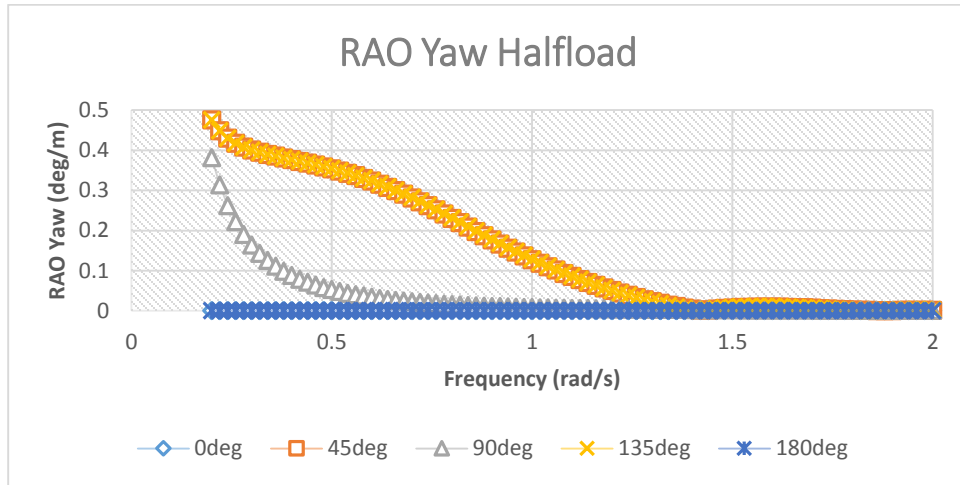
**Gambar 4.17** *Response Amplitude Operator* gerakan sway pada kondisi muatan *halfload*



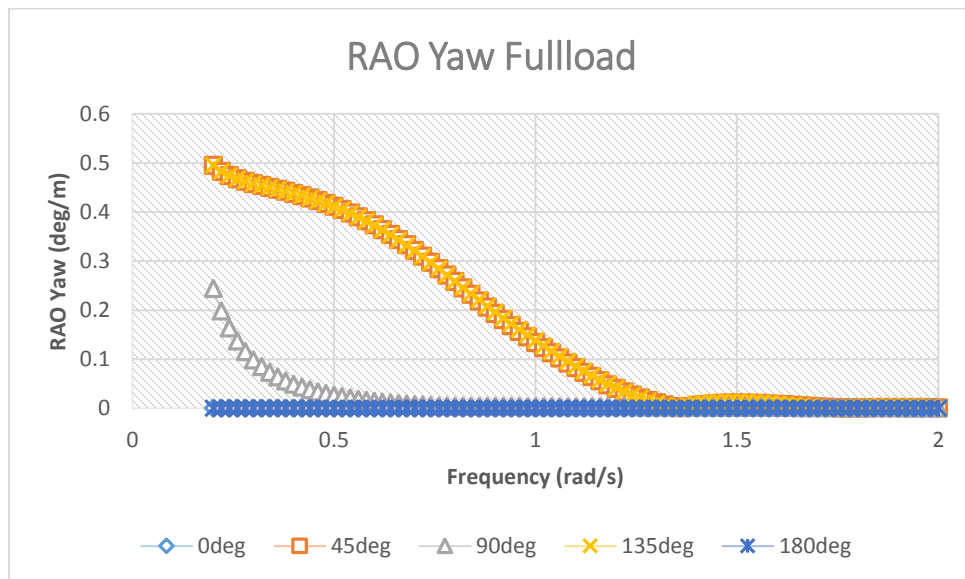
**Gambar 4.18** *Response Amplitude Operator* gerakan sway pada kondisi muatan *fullload*.

Pada gambar 4.17 dan 4.18 bisa kita perhatikan gerakan sway dari *barge*. Gerakan sway terjadi pada arah datang gelombang  $45^0$ ,  $90^0$ , dan  $135^0$ . Gerakan sway yang dominan terjadi pada arah datang gelombang  $90^0$ . Dimana pada gerakan ini RAO bermula dengan nilai 0.9863 m/m yang terjadi di frekuensi 0.2 rad/s yang kemudian nilai RAO turun

secara bertahap. Pada kondisi *fullload* gerakan sway dominan terjadi pada arah datang  $90^0$  dengan nilai sebesar 0.9721 m/m pada frekuensi 0.2 rad/s yang kemudian nilai RAO turun berdasarkan kenaikan frekuensi.



**Gambar 4.19** *Response Amplitude Operator* gerakan yaw pada kondisi muatan *halfload*



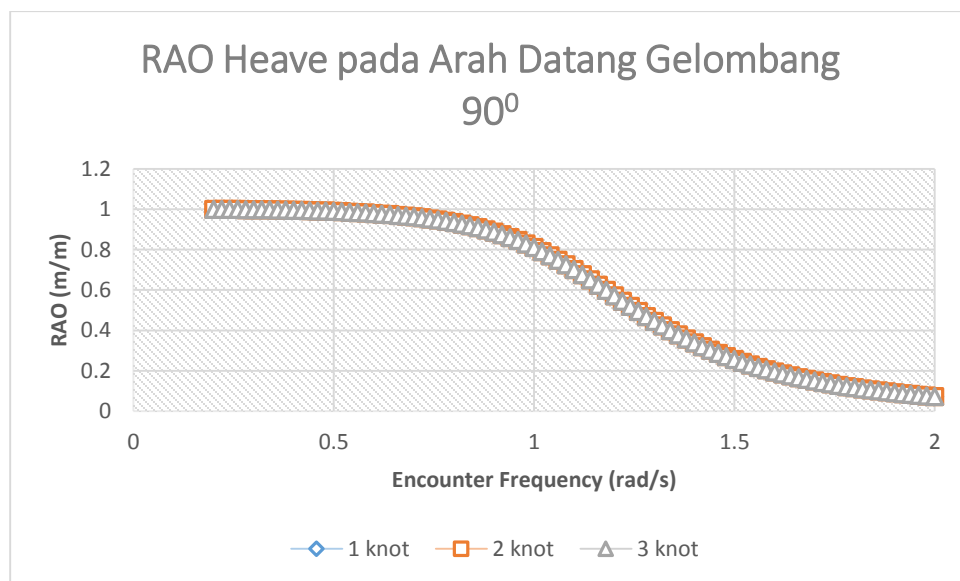
**Gambar 4.20** *Response Amplitude Operator* gerakan yaw pada kondisi muatan *fullload*

Pada gambar 4.19 dan 4.20, kita bisa memperhatikan gerakan yaw pada *barge*, dimana gerakan yaw terjadi pada arah datang gelombang  $45^0$ ,  $90^0$ , dan  $135^0$ . Gerakan yaw yang

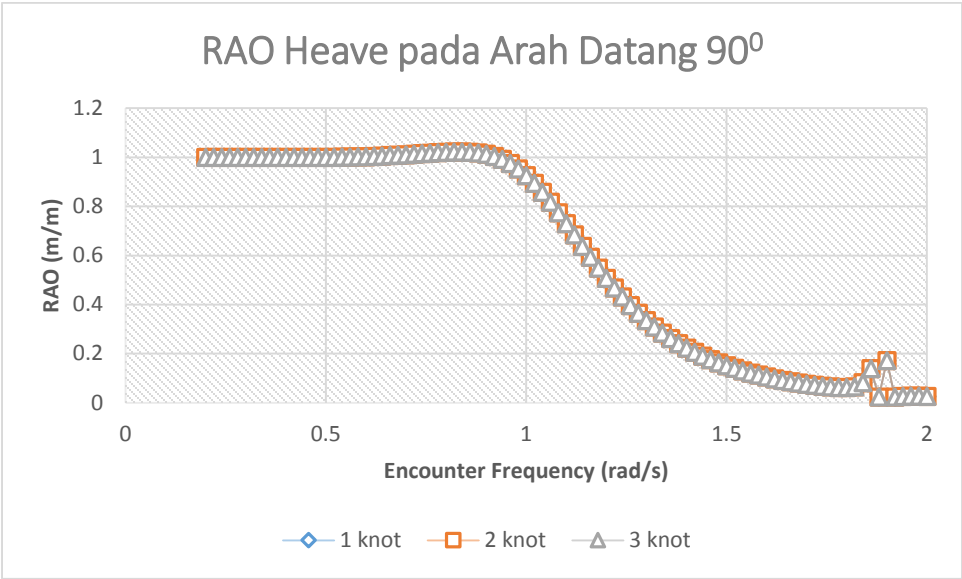
dominan terjadi pada arah datang gelombang  $45^0$  dan  $135^0$ . Dimana pada arah datang gelombang  $45^0$  nilai RAO yang terjadi sebesar 0.4752 deg/m pada frekuensi 0.2 rad/s dan pada arah datang gelombang  $135^0$  nilai RAO yang terjadi sebesar 0.4752 pada frekuensi 0.2 rad/s. Pada kondisi *fullload* gerakan *yaw* dominan terjadi pada arah datang  $135^0$  dengan nilai sebesar 0.4954 deg/m pada frekuensi 0.2 rad/s yang kemudian nilai RAO turun berdasarkan kenaikan frekuensi.

#### 4.4 Response Amplitude Operator Barge pada kecepatan 1,2 dan 3 knot.

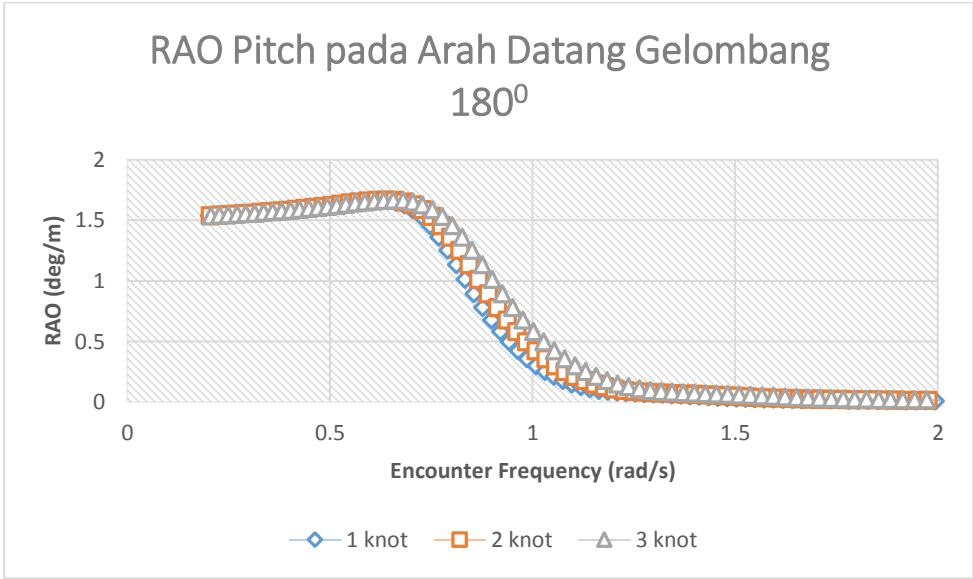
Pada analisis *Response Amplitude Operator Barge* pada kecepatan 1,2, 3 knot dilakukan pada masing-masing arah datang gelombang yang mana dari arah datang gelombang tersebut menghasilkan RAO yang paling dominan. Untuk gerakan *heave*, arah datang gelombang yang diperhatikan adalah arah datang gelombang  $90^0$ , gerakan *pitch* pada arah  $180^0$ , gerakan *roll* pada arah  $90^0$ , gerakan *surge* pada arah  $180^0$ , gerakan *sway* pada arah  $90^0$ , dan untuk gerakan *yaw* pada arah  $45^0$ . Hal ini dilakukan karena pada variasi kecepatan nilai RAO yang didapatkan adalah sama besar dengan RAO pada saat *barge* kondisi diam (*stasioner*) hanya saja terjadi pada frekuensi yang lebih besar untuk RAO dengan arah datang gelombang selain  $90^0$ . Berikut adalah hasil analisis dari *software Maxsurf Motion Advance*:



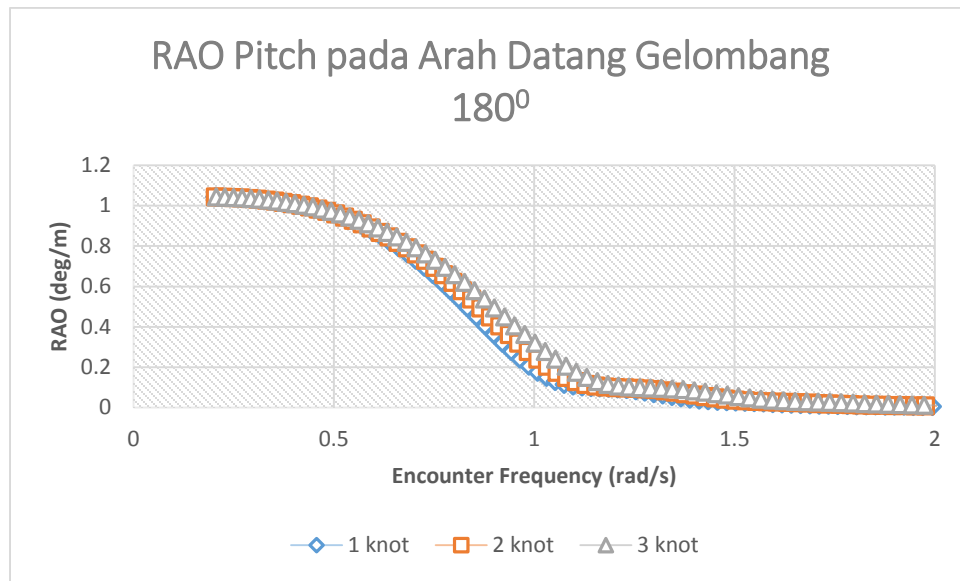
**Gambar 4.21** *Response Amplitude Operator* gerakan *heave* pada kondisi muatan *halfload*.



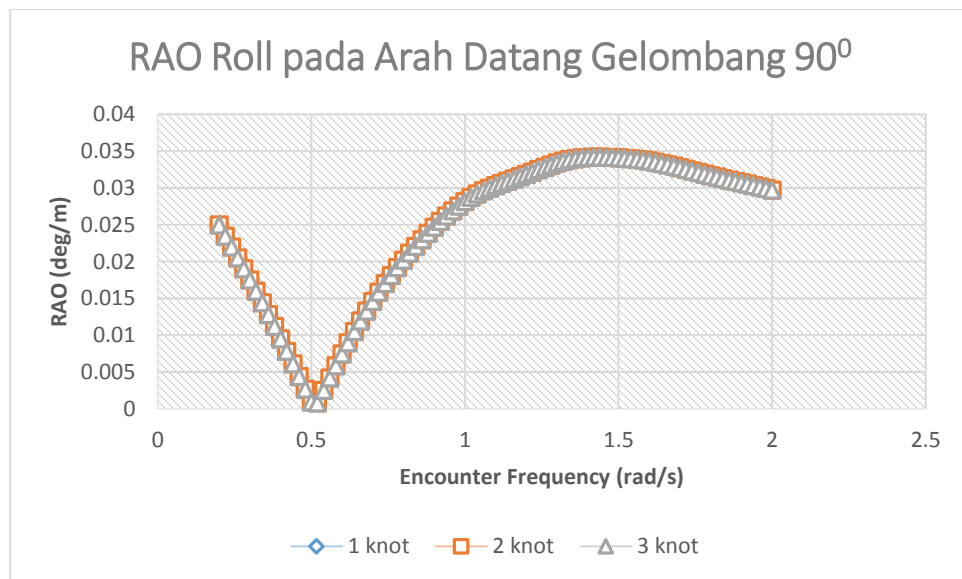
**Gambar 4.22** *Response Amplitude Operator* gerakan *heave* pada kondisi muatan *fullload*.



**Gambar 4.23** *Response Amplitude Operator* gerakan *pitch* pada kondisi muatan *halfload*.

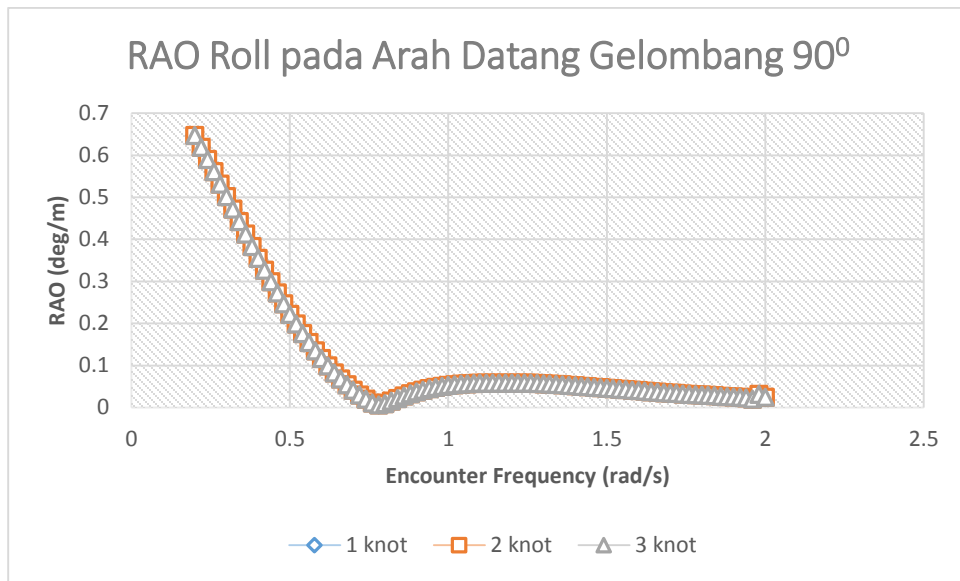


**Gambar 4.24** *Response Amplitude Operator* gerakan *pitch* pada kondisi muatan *fullload*.

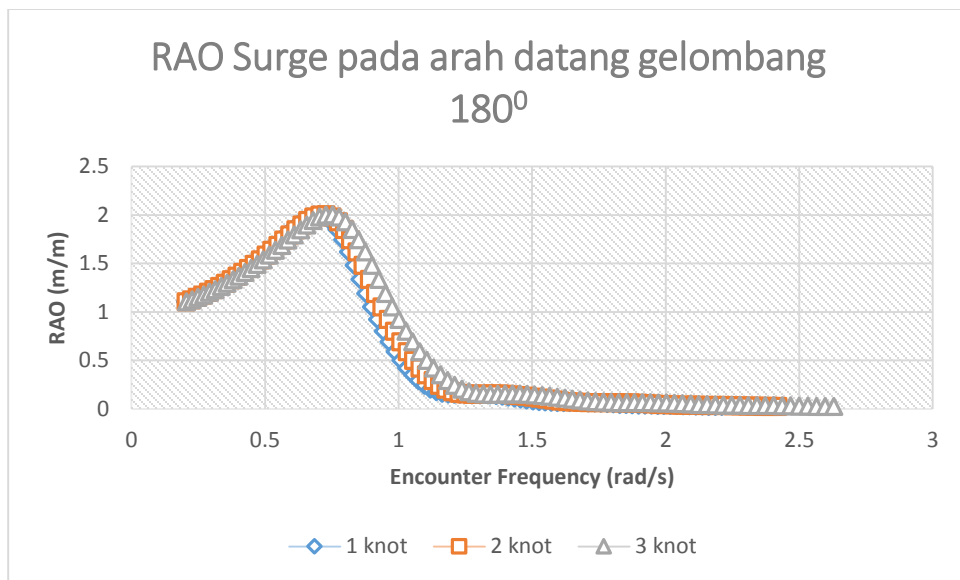


**Gambar 4.25** *Response Amplitude Operator* gerakan *roll* pada kondisi muatan *halfload*.

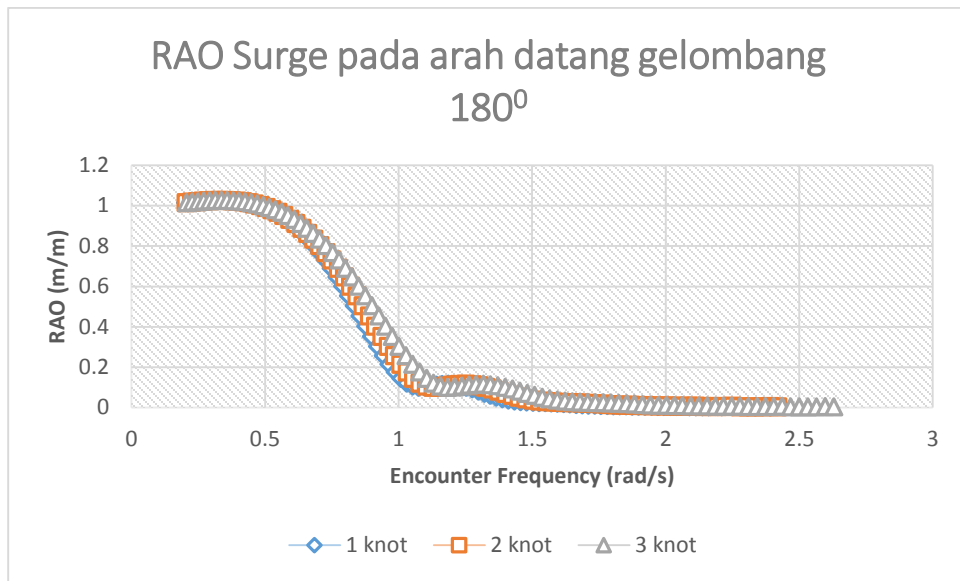




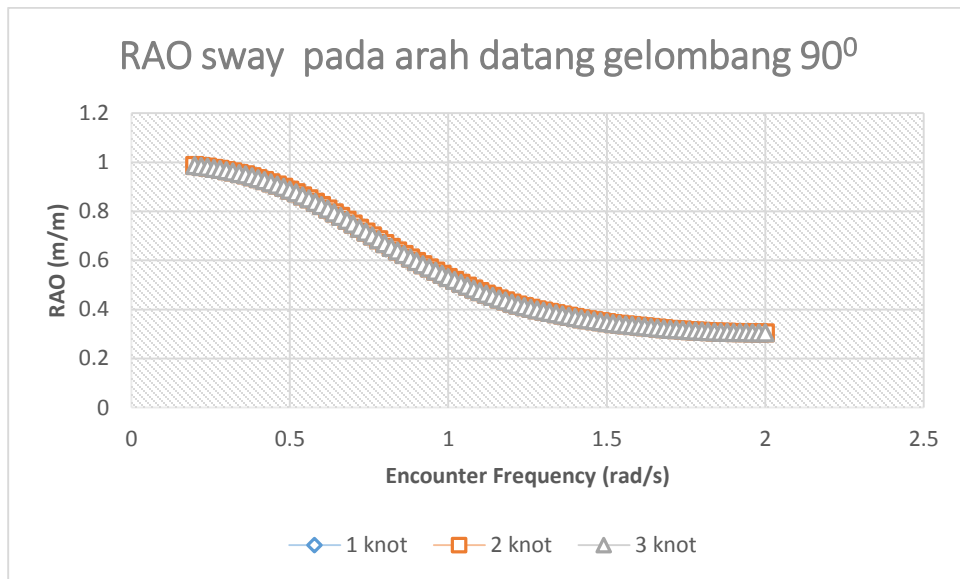
**Gambar 4.26** *Response Amplitude Operator* gerakan *roll* pada kondisi muatan *fullload*.



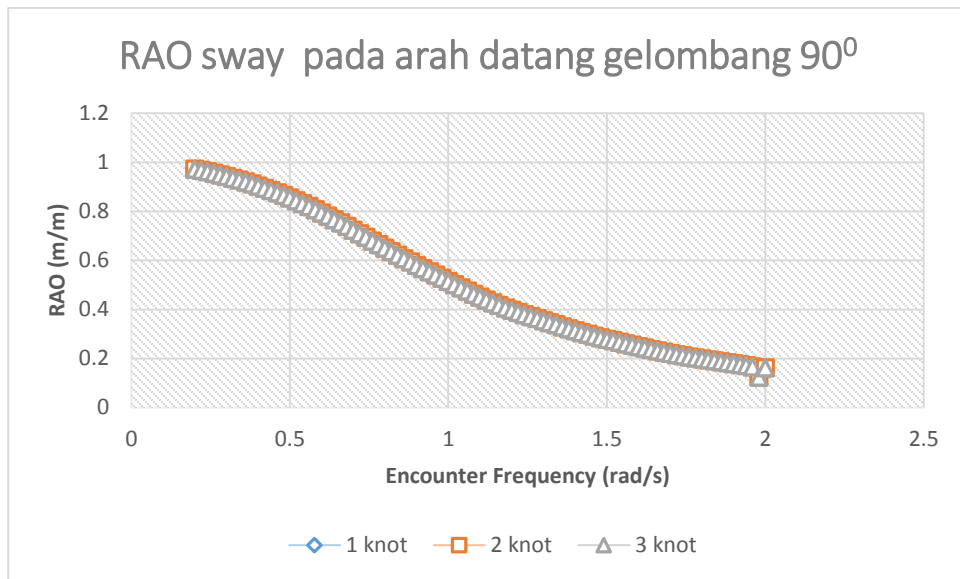
**Gambar 4.27** *Response Amplitude Operator* gerakan *surge* pada kondisi muatan *halfload*.



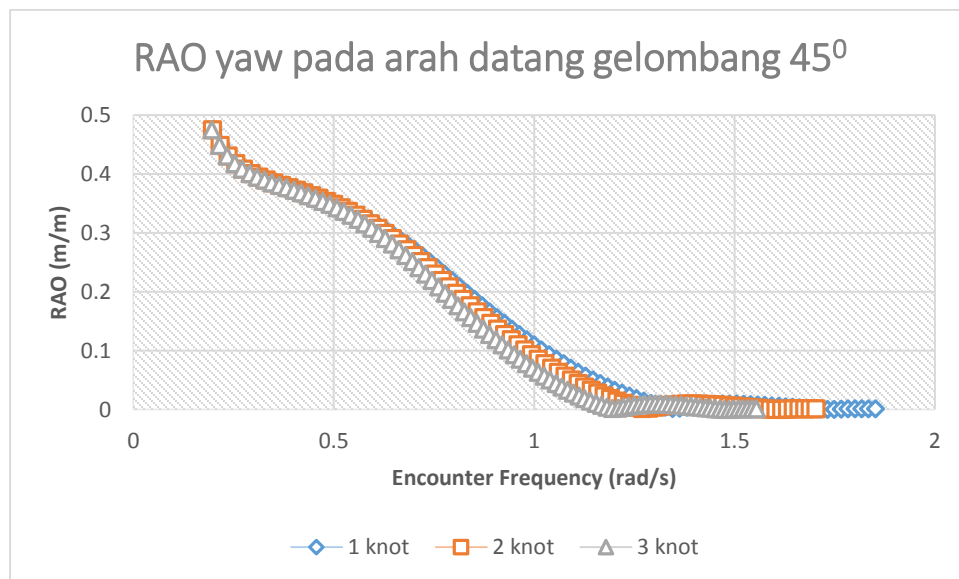
**Gambar 4.28** *Response Amplitude Operator* gerakan surge pada kondisi muatan *fullload*.



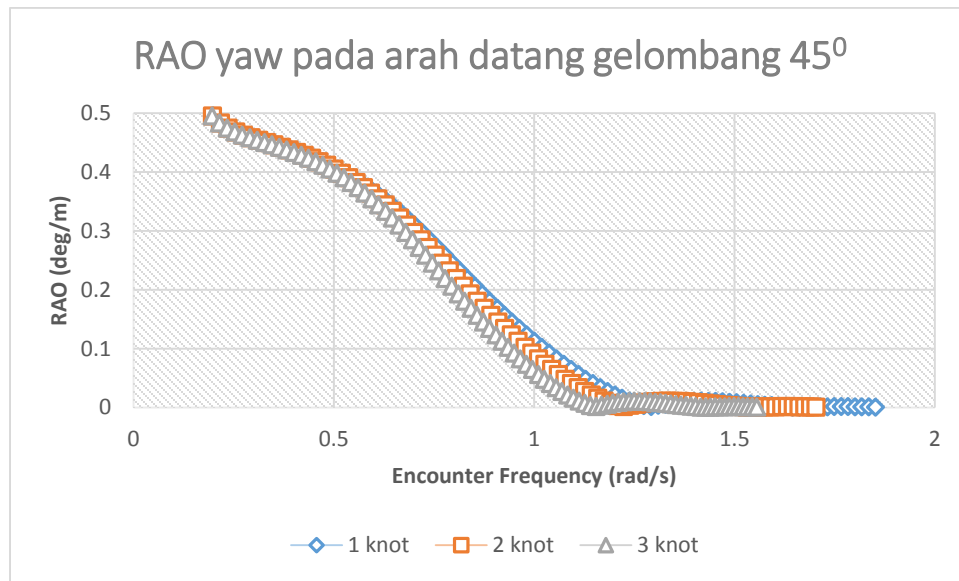
**Gambar 4.29** *Response Amplitude Operator* gerakan sway pada kondisi muatan *halfload*.



**Gambar 4.30** *Response Amplitude Operator* gerakan sway pada kondisi muatan *fullload*.



**Gambar 4.31** *Response Amplitude Operator* gerakan yaw pada kondisi muatan *halfload*.

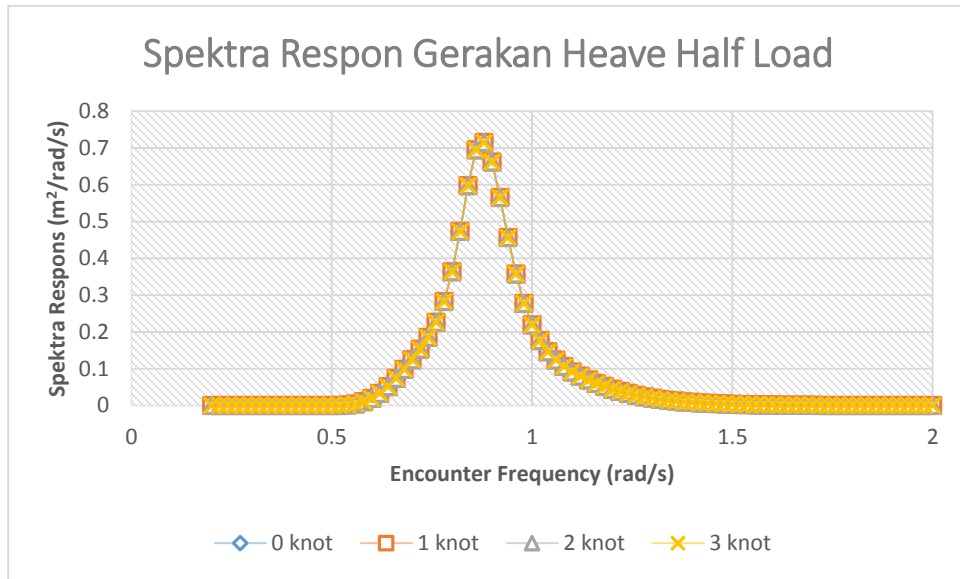


**Gambar 4.32** *Response Amplitude Operator* gerakan yaw pada kondisi muatan *halfload*.

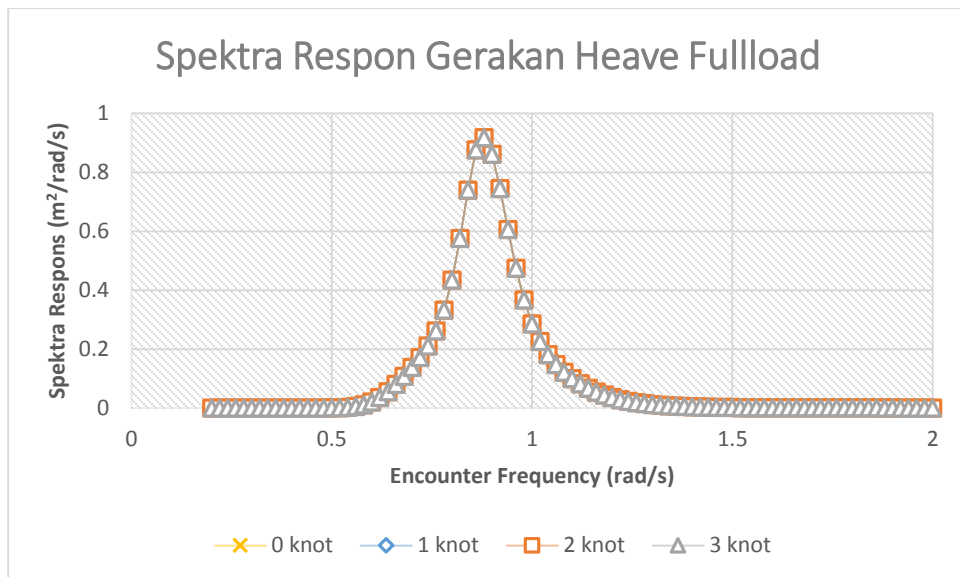
Dari gambar 4.21-4.32 bisa kita perhatikan bahwa pada masing masing gerakan, dengan variasi kecepatan 1 knot, 2 knot, dan 3 knot tidak terjadi perubahan nilai RAO pada masing-masing kecepatan, namun RAO pada tiap kenaikan kecepatan mengalami pergeseran ke arah frekuensi yang lebih besar. Hal ini terjadi pada arah datang gelombang selain  $90^\circ$ , dan untuk gerakan yang terjadi pada arah datang gelombang  $90^\circ$  memiliki besar RAO yang sama pada frekuensi yang sama.

#### 4.5 Respons Spektra Barge

Perhitungan respon spektra pada *barge* dilakukan pada kondisi muatan *halfload* dan *fullload*. Grafik respon spektra pada *barge* dilakukan pada gerakan *heave*, *roll* dan *pitch* dimana ketiga gerakan ini berpengaruh langsung terhadap kekuatan geladak kapal. Dari respon spectra yang didapatkan, akan digunakan untuk mencari percepatan pada masing-masing gerakan kapal. Berikut adalah hasil analisa :



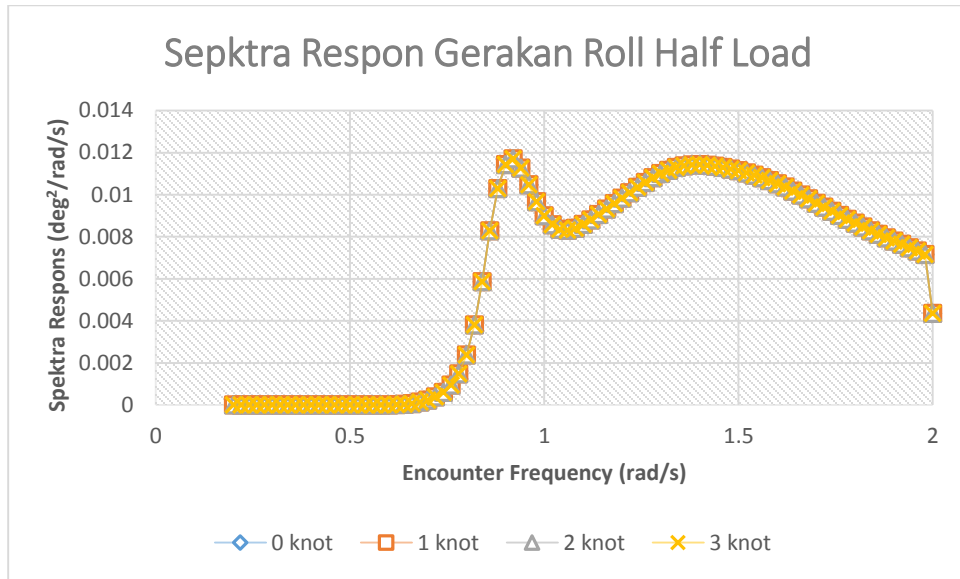
**Gambar 4.33** Respons spectra gerakan heave *halfload* arah datang gelombang  $90^0$



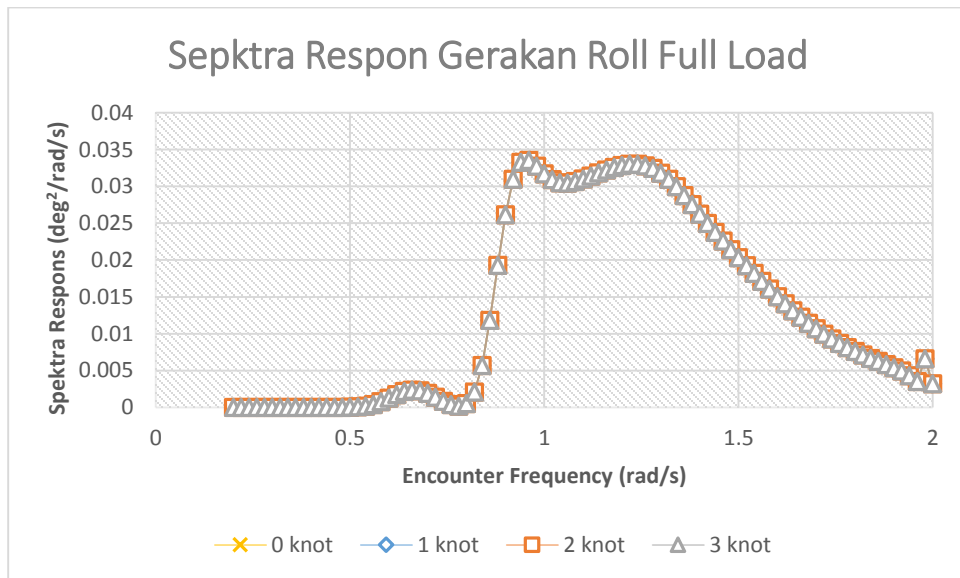
**Gambar 4.34** Respons spectra gerakan heave *fullload* arah datang gelombang  $90^0$

Pada gambar 4.33 dan 4.34 dapat kita lihat bahwa tidak terjadi perubahan respons pada tiap-tiap masing kecepatan. Analisa yang dilakukan adalah gerakan heave yang diakibatkan oleh gelombang dengan arah datang  $90^0$  pada saat *halfload* dan *fullload*. Puncak spectra gerakan heave terjadi pada *encounter frequency* 0.88 rad/s dengan harga spectra sebesar 0.71524 m²/rad/s untuk kondisi *halfload* sedangkan untuk kondisi *fullload*

puncak spectra yang terjadi sebesar 0.917902 m<sup>2</sup>/rad/s pada *encounter frequency* 0.88 rad/s.



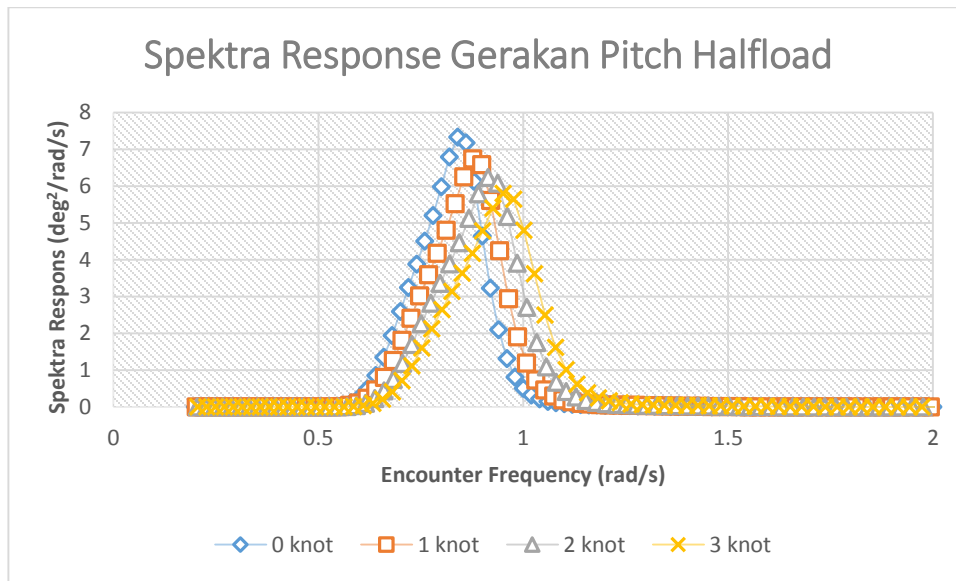
**Gambar 4.35** Respons spectra gerakan roll *halfload* arah datang gelombang 90<sup>0</sup>



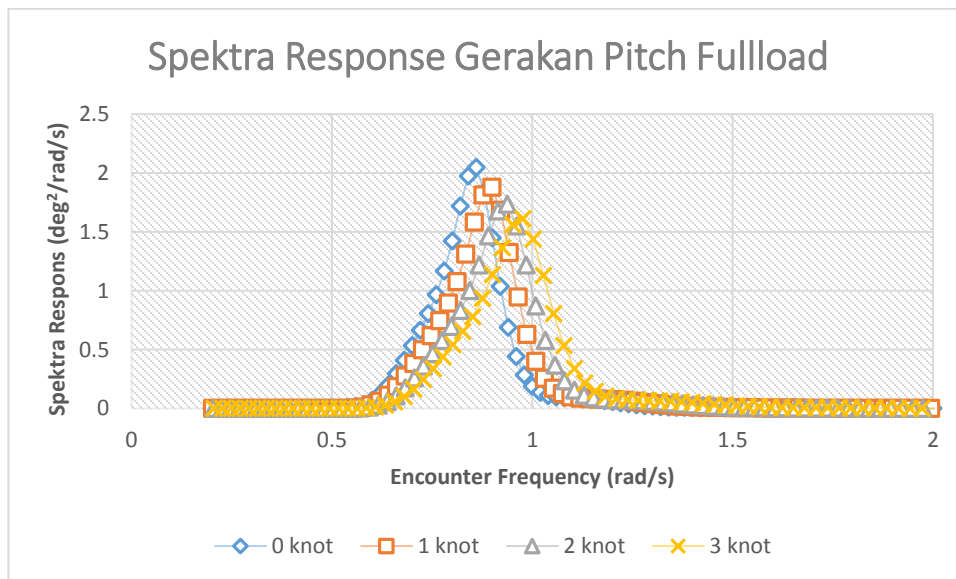
**Gambar 4.36** Respons spectra gerakan roll *fullload* arah datang gelombang 90<sup>0</sup>

Pada gambar 4.35 dan 4.36 dapat kita lihat bahwa tidak terjadi perubahan respons pada tiap-tiap masing kecepatan. Analisa yang dilakukan adalah gerakan roll yang diakibatkan oleh gelombang dengan arah datang 90<sup>0</sup> pada saat *halfload* dan *fullload*. Puncak spectra gerakan roll terjadi pada *encounter frequency* 0.9 rad/s dengan harga spectra sebesar

0.011433  $\text{deg}^2/\text{rad/s}$  untuk gerakan *halfload* sedangkan untuk gerakan *fullload* nilai puncak yang terjadi sebesar 0.033541  $\text{deg}^2/\text{rad/s}$  pada *encounter frequency* 0.96 rad/s.



**Gambar 4.37** Respons spectra gerakan pitch *halfload* arah datang gelombang  $180^\circ$



**Gambar 4.38** Respons spectra gerakan pitch *fullload* arah datang gelombang  $180^\circ$

Pada gambar 4.37 dan 4.38, respon spectra gerakan pitch pada masing-masing kecepatan mengalami perubahan harga spectra dimana puncak spectra terjadi pada frekuensi yang berbeda pada tiap variasi kecepatan. Analisa respons spectra untuk gerakan pitch

dilakukan pada respons yang diakibatkan oleh gelombang dengan arah datang  $180^\circ$  pada saat *half load* dan *full load*. Pada kondisi stasioner, puncak spectra mempunyai harga 7.334  $\text{deg}^2/\text{rad/s}$  pada frekuensi 0.84 rad/s. Pada kecepatan 1 knot, puncak spectra mempunyai harga 6.74  $\text{deg}^2/\text{rad/s}$  pada frekuensi 0.88 rad/s. Pada kecepatan 2 knot, puncak spectra mempunyai harga 6.235  $\text{deg}^2/\text{rad/s}$  pada frekuensi 0.91 rad/s. Pada kecepatan 3 knot, puncak spectra mempunyai harga 5.80  $\text{deg}^2/\text{rad/s}$  pada frekuensi 0.95 rad/s.

Bisa disimpulkan bahwa untuk gerakan yang diakibatkan oleh gelombang dengan arah datang gelombang sebesar  $90^\circ$ , hasil keluaran respon spectra tidak mengalami perubahan harga, serta puncak spectra terjadi pada frekuensi yang sama. Namun, untuk gerakan yang diakibatkan oleh gelombang dengan sudut yang tidak  $90^\circ$  hasil respon spectra mengalami perubahan harga dan puncak spectra terjadi pada frekuensi yang berbeda.

#### 4.6 Single Amplitude Acceleration

Dari grafik RAO yang sudah dibahas pada subbab sebelumnya, dapat dibandingkan gerakan-gerakan dominan yang disebabkan dari beberapa variasi arah datang gelombang dan kecepatan kapal. Dari 6 derajat gerakan kapal, gerakan yang dominan adalah gerakan *heave*, *pitch*, dan *roll* yang menghasilkan simpangan *amplitude* dengan nilai yang besar. Berikut adalah hasil perhitungan *single amplitude acceleration* dengan *Maxsurf Motions Advanced* pada barge PAS – 26011 TK pada kondisi *halfload* dan *fullload*:

**Tabel 4.7** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $0^\circ$  *halfload*

Gerakan	Single Amplitude Acceleration 0				MAX
	HALFLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.187	0.168	0.151	0.135	0.187
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.02954	0.02689	0.02437	0.02199	0.02954



**Tabel 4.8** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $0^0$  *full load*

Gerakan	Single Amplitude Acceleration 0				MAX
	FULLLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.157	0.142	0.127	0.113	0.157
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.01732	0.01565	0.01406	0.01258	0.01732

**Tabel 4.9** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $45^0$  *halfload*

Gerakan	Single Amplitude Acceleration 45				MAX
	HALFLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.306	0.286	0.267	0.248	0.306
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0.00233	0.00211	0.0019	0.0017	0.0023
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.03312	0.03092	0.0288	0.02676	0.03312

**Tabel 4.10** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $45^0$  *fullload*

Gerakan	Single Amplitude Acceleration 45				MAX
	FULLLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.253	0.237	0.221	0.206	0.253
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0.00587	0.00541	0.00497	0.00455	0.00587
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.02378	0.02215	0.02058	0.01907	0.02378

**Tabel 4.11** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $90^0$  *halfload*

Gerakan	Single Amplitude Acceleration 90				MAX
	HALFLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.691	0.691	0.691	0.691	0.691
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0.0084	0.0084	0.0084	0.0084	0.0084
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.00047	0.00047	0.00047	0.00047	0.00047

**Tabel 4.12** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $90^0$  *fullload*

Gerakan	Single Amplitude Acceleration 90				MAX
	FULLLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.733	0.733	0.733	0.733	0.733
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0.01007	0.01007	0.01007	0.01007	0.01007
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.00141	0.00141	0.00141	0.00141	0.00141

**Tabel 4.13** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $135^0$  *halfload*

Gerakan	Single Amplitude Acceleration 135				MAX
	HALFLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.282	0.301	0.321	0.341	0.341
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0.00225	0.00248	0.00272	0.00297	0.00297
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.03382	0.03615	0.03857	0.04106	0.04106

**Tabel 4.14** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $135^0$  *fullload*

Gerakan	Single Amplitude Acceleration 135				MAX
	FULLLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.268	0.285	0.304	0.323	0.323
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0.00538	0.00581	0.00625	0.00672	0.00672
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.02361	0.02529	0.02703	0.02883	0.02883

**Tabel 4.15** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $180^0$  *halfload*

Gerakan	Single Amplitude Acceleration 180				MAX
	HALFLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.164	0.181	0.199	0.218	0.218
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.0296	0.03239	0.0353	0.03835	0.03835

**Tabel 4.16** *Single Amplitude Acceleration* arah datang gelombang  $180^0$  *fullload*

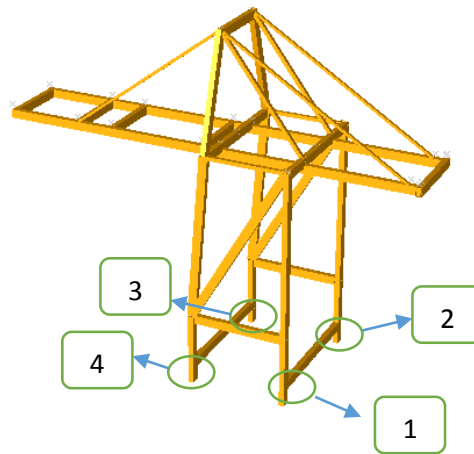
Gerakan	Single Amplitude Acceleration 180				MAX
	FULLLOAD				
	0 knot	1 knot	2 knot	3 knot	
Heave (m/s <sup>2</sup> )	0.162	0.179	0.196	0.215	0.215
Roll (rad/s <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0
Pitch (rad/s <sup>2</sup> )	0.01652	0.01816	0.01988	0.02168	0.02168

Dari beberapa tabel diatas, bila kita memperhatikan percepatan pada masing masing gerakan. Percepatan yang menimbulkan beban yang besar adalah pada arah datang

gelombang  $90^0$  dengan kecepatan kapal 3 knot dengan muatan penuh (*fulload*). Dimana pada gerakan *heave* sebesar  $0.733 \text{ m/s}^2$ , *roll* sebesar  $0.01 \text{ rad/s}^2$ , dan *pitch* sebesar  $0.0014 \text{ rad/s}^2$ .

#### 4.7 Pemodelan Container Crane.

Untuk mencari beban yang di akibatkan oleh gerakan kapal pada saat kondisi transportasi diperlukan distribusi beban pada masing-masing kaki *container crane*. Berat keseluruhan adalah sebesar 831 ton. Pemodelan *container crane* dilakukan berdasarkan *general arrangement* dari PT. BJTI dengan menggunakan *software SACS*. Berikut adalah hasil pemodelan dan distribusi beban pada masing-masing kaki.



**Gambar 4.39** Desain *container crane* dari *software SACS*.

**Tabel 4.17** Distribusi beban pada masing-masing kaki *container crane*.

LOAD	FZ(KN)	FZ(tonnes)
KAKI 1	1707.266	174.092682
KAKI 2	1662.382	169.515788
KAKI 3	2389.592	243.67057
KAKI 4	2390.857	243.799565

#### 4.8 Perhitungan Gaya Gerak Translasi *Container Crane* Akibat Akselerasi

##### Gerakan Translasi *Barge*

Perhitungan gaya gerak translasi *container crane* yang berpengaruh pada dek, dilakukan pada gerakan *heave*. Karena gerakan *heave* secara langsung berefek pada kekuatan dek dari *barge*. Dengan menggunakan persamaan .

$$F = m \times a$$

F = Gaya translasi

m = Massa

a= Percepatan gerakan kapal

Berikut adalah hasil perhitungan untuk gaya inerti yang di akibatkan oleh gerakan *heave* pada *barge*.

**Tabel 4.18** Gaya inerti pada masing-masing kaki *container crane*.

Gaya inerti gerakan heave				
LOAD	FZ(KN)	FZ(tonnes)	$\ddot{\theta}_{heave}$	Inerti(KN)
KAKI 1	1707.266	174.092682	-0.733	-127.6099
KAKI 2	1662.382	169.515788	-0.733	-124.2551
KAKI 3	2389.592	243.67057	-0.733	-178.6105
KAKI 4	2390.857	243.799565	-0.733	-178.7051

#### 4.9 Perhitungan Gaya Gerak Rotasi *Container Crane* Akibat Akselerasi Gerakan

##### Rotasi *Barge*

Dalam analisis kekuatan dek, diperlukan perhitungan gaya inerti yang terjadi ketika kapal mengalami gerakan *roll*, *yaw*, dan *pitch*. Gerakan ini diambil dari gerakan yang terjadi karena gelombang dari arah 135<sup>0</sup> ketika kapal bergerak dengan kecepatan 3 knot dimana dari gelombang tersebut adalah gelombang yang menghasilkan gerakan yang paling dominan. Ada beberapa gaya yang dihitung untuk mencari gaya-gaya akibat gerakan rotasi dari kapal. Gaya tersebut terbagi menjadi dua macam. Yang pertama adalah gaya horizontal dan yang kedua adalah gaya vertikal. Dua gaya tersebut dipengaruhi oleh gaya tangensial, gaya sentrifugal, dan gaya berat yang di pengaruhi oleh percepatan gravitasi. Namun pada analisis ini, gaya yang diperhitungkan cukup gaya

inertia saja dikarenakan letak titik COG *container crane* tepat di atas titik COG gabungan dari sistem. Perhitungan gaya inertia dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F = \frac{W}{g} \times r \times \omega^2 \times \Phi_a$$

Dimana,

W = berat kapal

G = percepatan gravitasi

r = jarak COG kapal dengan COG *container crane*

$\omega$  = frekuensi gerakan

$\Phi_a$  = sudut oleng

Persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi sebagai berikut:

$$F = m \times \ddot{\theta} \times r$$

Berikut adalah hasil perhitungan yang disertakan dalam bentuk tabel untuk gaya inertia yang dihasilkan oleh *container crane* akibat gerakan rotasional kapal :

**Tabel 4.19** Gaya inertia gerakan *roll* pada masing-masing kaki *container crane*.

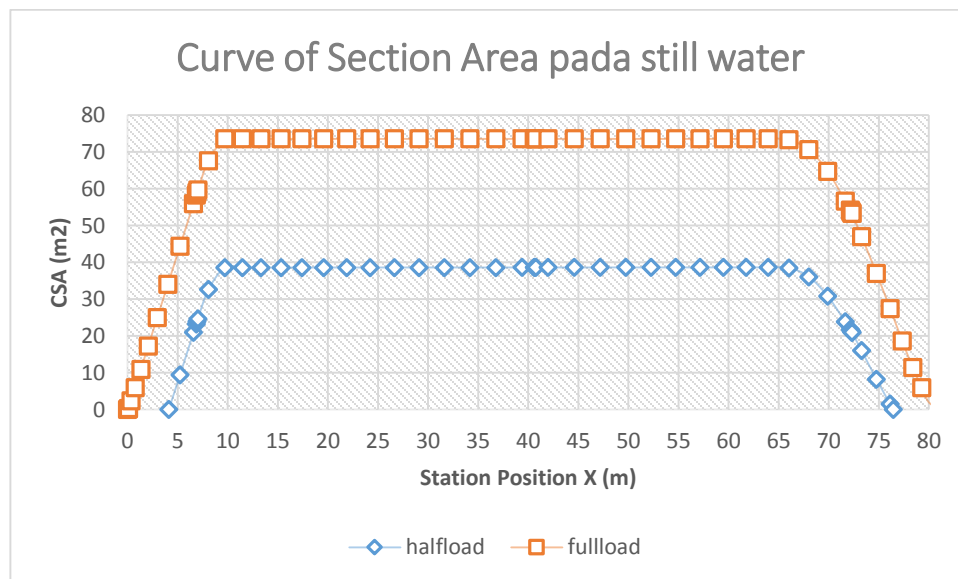
Gaya Inertia Gerakan Roll					
LOAD	FZ(KN)	FZ(tonnes)	r (lengan)	$\ddot{\theta}$	Inertia(KN)
KAKI 1	1707.266	174.092682	30.0303	0.01007	52.64652
KAKI 2	1662.382	169.515788	30.0303	0.01007	51.26244
KAKI 3	2389.592	243.67057	30.0303	-0.01007	-73.68723
KAKI 4	2390.857	243.799565	30.0303	-0.01007	-73.72624

**Tabel 4.20** Gaya inertia gerakan *pitch* pada masing-masing kaki *container crane*.

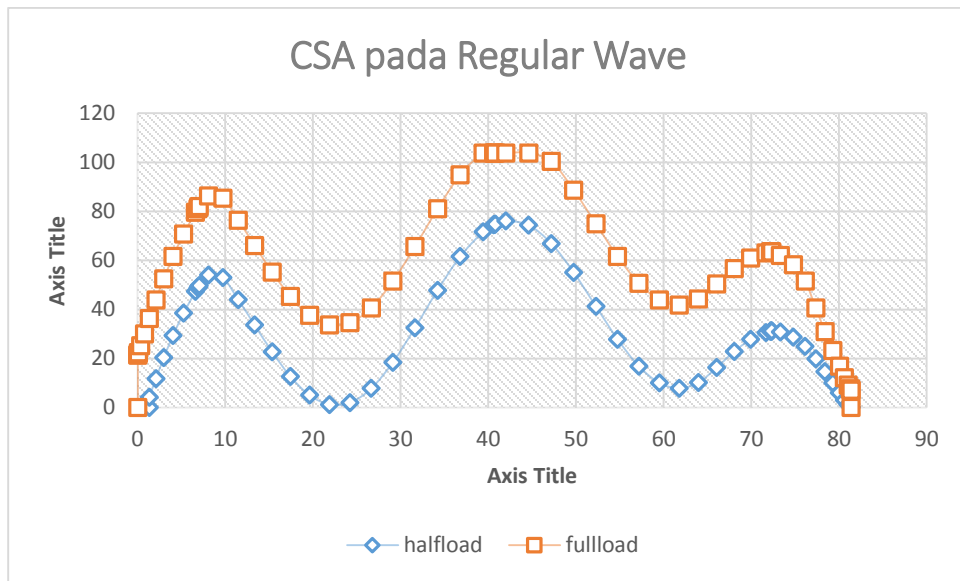
Gaya Inertia Gerakan Pitch					
LOAD	FZ(KN)	FZ(tonnes)	r (lengan)	$\ddot{\theta}$	Inertia(KN)
KAKI 1	1707.266	174.092682	30.0303	-0.00141	-7.371558
KAKI 2	1662.382	169.515788	30.0303	0.00141	7.17776
KAKI 3	2389.592	243.67057	30.0303	0.00141	10.31768
KAKI 4	2390.857	243.799565	30.0303	-0.00141	-10.32314

#### 4.10 Curve of Sectional Area.

*Curve of Sectional Area* digunakan untuk perhitungan *shear force* dan *bending moment* kekuatan memanjang kapal. Dari pemodelan pada *software Maxsurf*, bisa kita dapatkan CSA pada tiap station pada saat sarat air 1.6 m (*halfload*) dan 3 m (*fullload*). Hasil CSA dari *software* ditampilkan dengan grafik sebagai berikut.



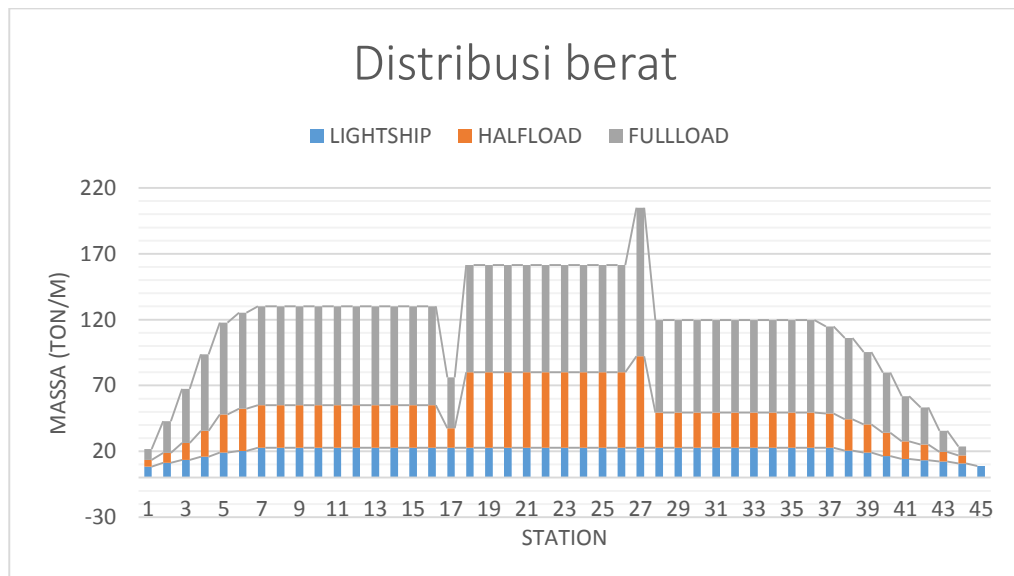
**Gambar 4.40** Curve Section Area still water



**Gambar 4.41** *Curve Section Area regular wave*

#### 4.11 Penyebaran Berat *Barge PAS 26011-TK*

Pada *barge*, untuk perhitungan kekuatan memanjang kapal. Diperlukan perhitungan berat kapal secara memanjang, kondisi lightship kapal serta berat ballast dan sebagainya. Berikut adalah grafik penyebaran berat pada kapal secara memanjang untuk tiap-tiap station :

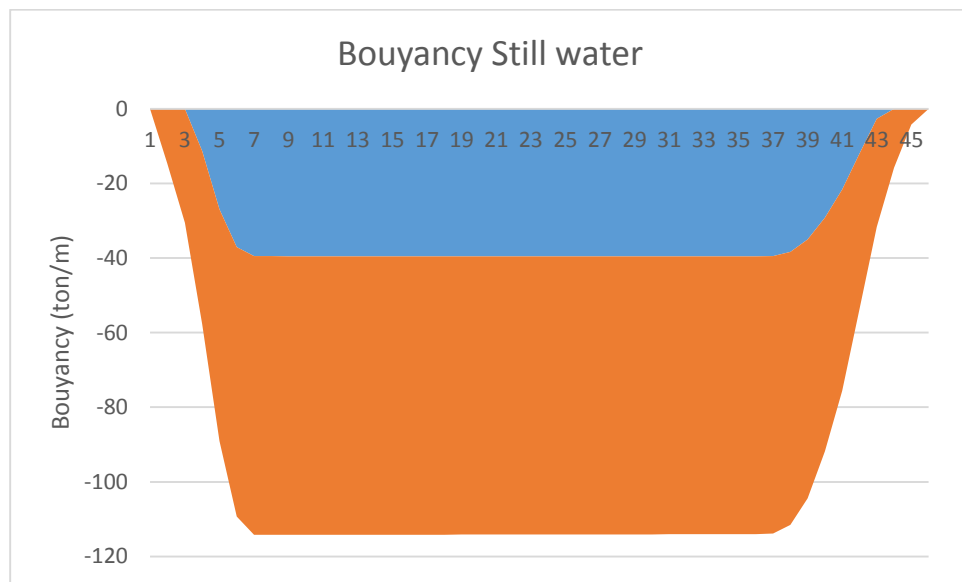




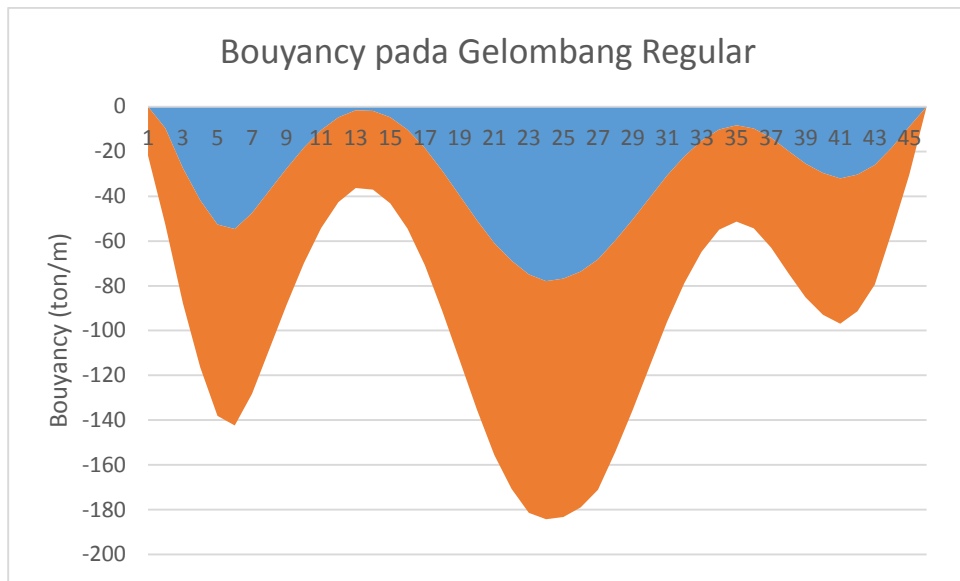
**Gambar 4.42** Distribusi berat kapal secara memanjang kondisi *lightship*, *halfload* dan *fullload*.

#### 4.12 Penyebaran Gaya Apung *Barge PAS 26011 – TK*

Penyebaran gaya apung pada barge dihitung untuk mengetahui gaya tekan air ke atas sebagai pengaruh kekuatan memanjang kapal. Gaya apung dihitung berdasarkan volume kapal yang tercelup pada sarat air yang sudah ditentukan (sarat air 1.6m). Berikut adalah grafik penyebaran gaya apung pada *barge* :



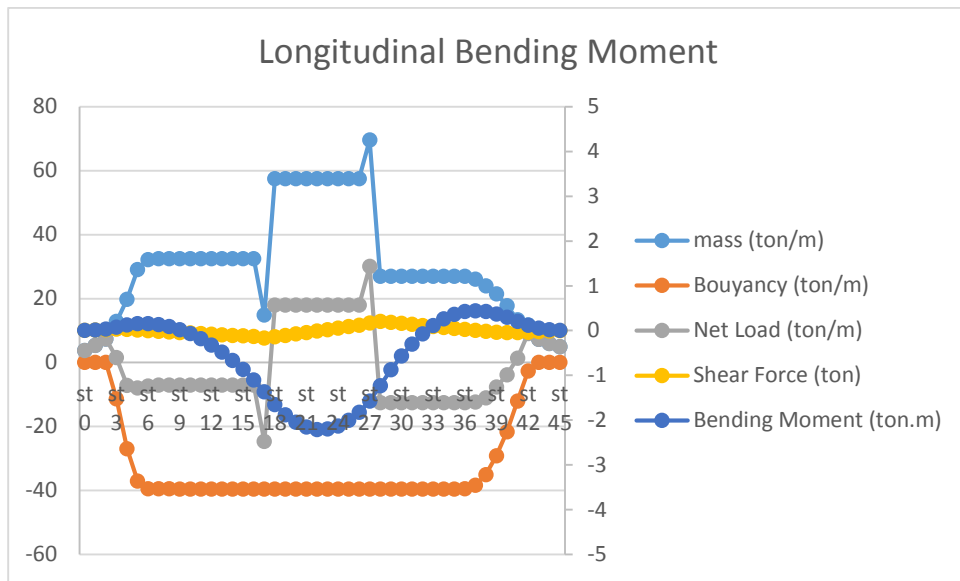
**Gambar 4.43** Gaya *Bouyancy* pada kondisi perairan *still water halfload* dan *fullload*.



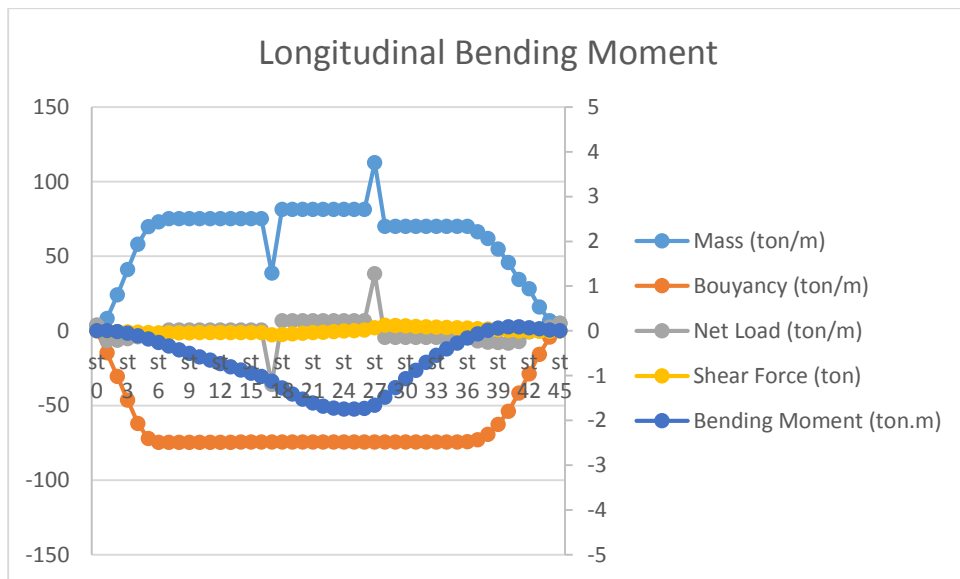
**Gambar 4.44** Gaya *Bouyancy* pada kondisi perairan gelombang regular *halfload* dan *fullload*.

#### 4.13 Analisis Kekuatan Memanjang Kapal kondisi *still water*.

*Shear Force* atau gaya geser bangunan apung sepanjang panjang kapal dapat dihitung dengan memperhitungkan dari data hidrostatik (CSA) dan distribusi beban sepanjang kapal. Serta perhitungan *Bending Mooment* dapat dilakukan dengan mempertimbangkan distribusi beban dan penyebaran gaya apung sepanjang kapal (Bhattacharya, 1972:251). Berikut pada Gambar 4.45-4.46 dibawah ini disajikan grafik *Shear Force* dan *Bending Moment barge PAS 26011 – TK* di dalam kondisi kapal berangkat (sarat air 1.6m) di perairan tenang dengan bantuan perhitungan menggunakan *software Maxsurf Advanced Stability* dalam pengerjaannya.



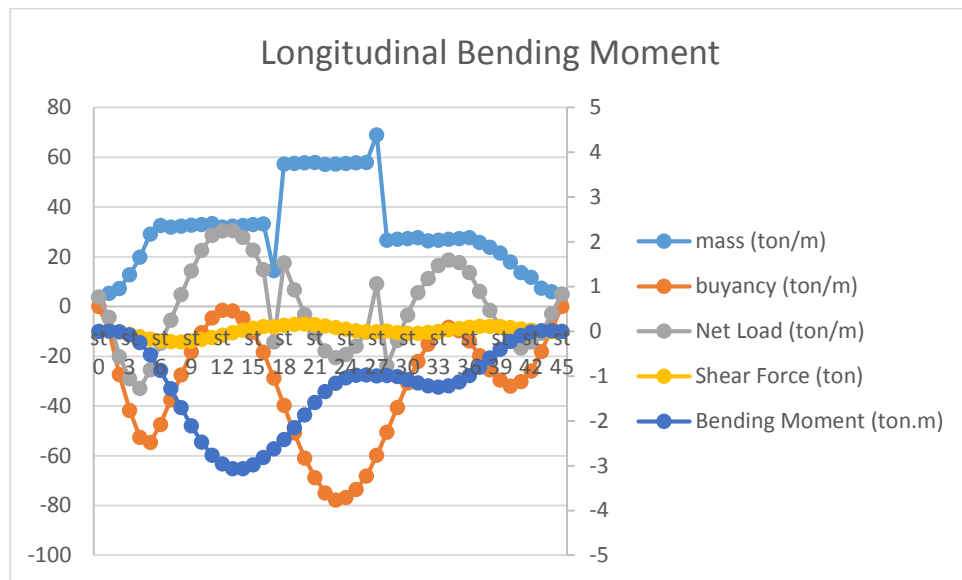
**Gambar 4.45** Grafik hasil perhitungan kekuatan memanjang kapal kondisi *halfload* perairan *still water*



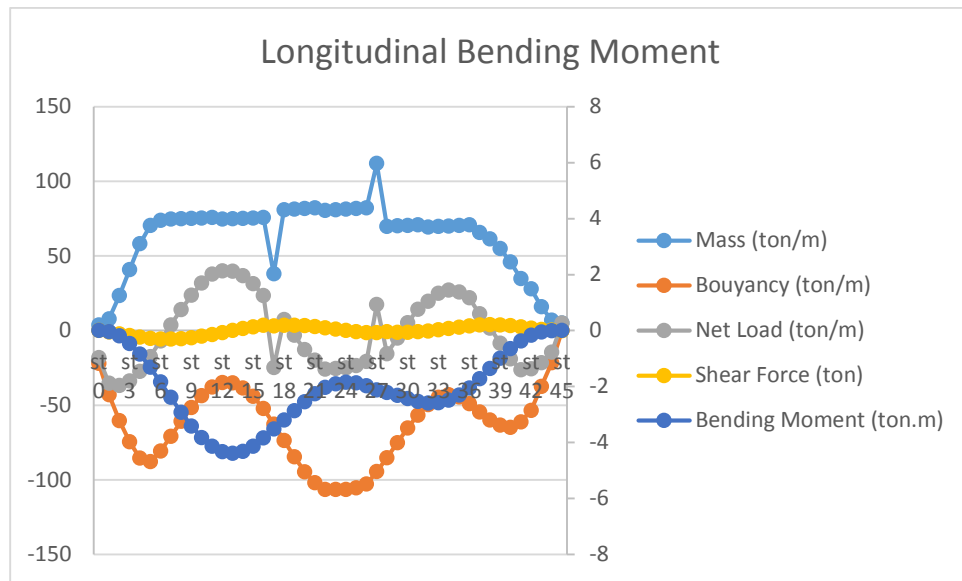
**Gambar 4.46** Grafik hasil perhitungan kekuatan memanjang kapal kondisi *fullload* perairan *still water*

#### 4.14 Analisis Kekuatan Memanjang Kapal Kondisi Gelombang Regular.

*Shear Force* atau gaya geser bangunan apung sepanjang panjang kapal pada saat gelombang regular dapat dihitung dengan memperhitungkan dari data hidrostatik (CSA) dan distribusi beban sepanjang kapal. Serta perhitungan *Bending Mooment* dapat dilakukan dengan mempertimbangkan distribusi beban dan penyebaran gaya apung sepanjang kapal. Berikut pada Gambar 4.47 dan 4.48 dibawah ini disajikan grafik *Shear Force* dan *Bending Moment barge PAS 26011 – TK* di dalam kondisi kapal berangkat (sarat air 1.6m) pada gelombang regular dengan bantuan perhitungan menggunakan *software Maxsurf Advanced Stability*.



**Gambar 4.47** Grafik hasil perhitungan kekuatan memanjang kapal kondisi *halfload* pada gelombang regular.



**Gambar 4.48** Grafik hasil perhitungan kekuatan memanjang kapal kondisi *fullload* pada gelombang regular.

#### 4.15 *Shear Force* dan *Bending Moment* secara memanjang barge PAS 26011 – TK

Hasil perhitungan *shear force* dan *bending moment* secara memanjang yang didapatkan dari *software Maxsurf Stability Advance* digunakan untuk menentukan bagian yang akan dimodelkan pada *software ANSYS* untuk mendapatkan tegangan yang terjadi pada dek barge PAS 26011 – TK. Hasil perhitungan yang akan ditampilkan adalah pada station 10 hingga station 40, pada station tersebut terjadi *shear force* dan *bending moment* yang maksimum. Berikut adalah tabel *shear force* dan *bending moment* :

**Tabel 4.21** *shear force* dan *bending moment* maksimum pada kondisi perairan *still water* dan *regular wave*.

Condition	Shear Force x10 <sup>3</sup> (ton)		Bending Moment x10 <sup>3</sup> (ton.m)	
	Still Water	Regular Wave	Still Water	Regular Wave
<i>halfload</i>	0.205	-0.234	-2.209	-3.064
<i>fullload</i>	0.123	-0.303	-1.751	-4.385

#### 4.16 Perhitungan Beban Angin.

Perhitungan beban angin dilakukan dengan menggunakan software *sacs*, dimana titik gaya di fokuskan pada masing-masing kaki. Angin yang di perhitungkan adalah angin dengan arah  $135^0$  dengan menggunakan *codes ABS, 2001*. Untuk perhitungan gaya angin yang mengenai struktur, dapat dicari dengan persamaan – persamaan berikut :

Berdasarkan ABS, 2001 :

$$F = \frac{1}{2} \rho C_s C_h A V^2$$

F = gaya angin (N)

$\rho$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ ) =  $1.226 \text{ kg/m}^3$

$C_s$  = koefisien dari bentuk benda yang terkena angin

$C_h$  = koefisien dari ketinggian benda

A = area/luasan yang terkena angin ( $\text{m}^2$ )

V = kecepatan angin (m/s)

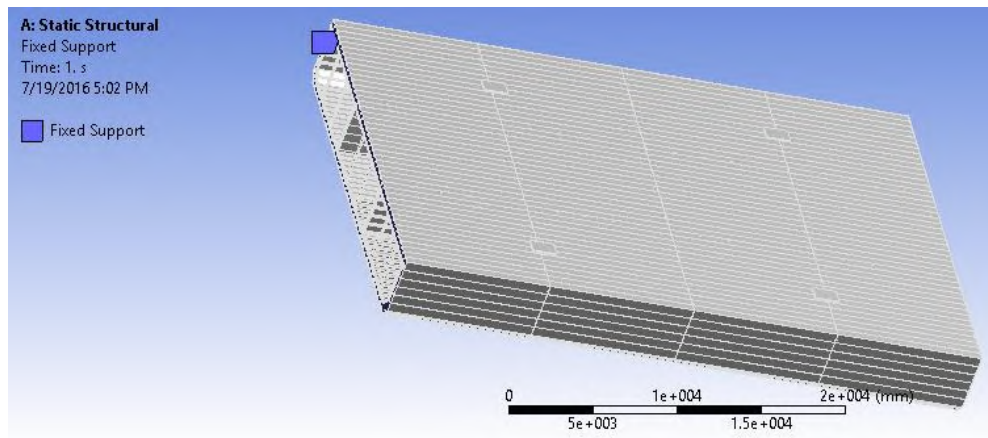
Berikut adalah hasil analisa dari *software SACS*.

**Tabel 4.22** Gaya dan Moment angin dari arah  $90^0$

LOAD	Force (X) KN	Force (Y) KN	Force (Z) KN
kaki 1	74.166	0	0
kaki 2	74.166	0	0
kaki 3	77.363	0	0
kaki 4	77.363	0	0

#### 4.17 Pemodelan Konstruksi Lambung *Barge PAS 26011 – TK*

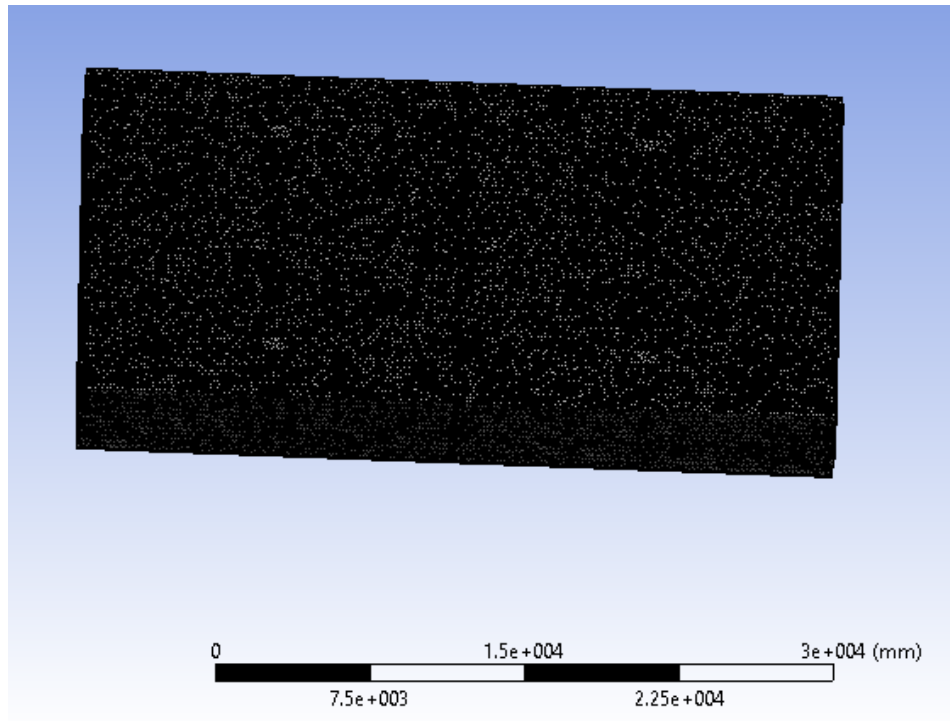
Pemodelan konstruksi dilakukan pada konstruksi yang mencakup kaki *container crane* yaitu pada *station 11* hingga *station 31* dengan tumpuan jepit pada salah satu sisi. Mengacu pada *rule BKI Vol.II “Rules for Hull Construction”* tahun 2009 dengan memodelkan dimensi-dimensi ketebalannya sesuai dengan kondisi 80% dari desain awal sebagai toleransi korosi. . Berikut adalah hasil pemodelan konstruksi geladak, dan hull dengan menggunakan *software Autocad 2015*



**Gambar 4.49** Hasil Pemodelan Konstruksi Geladak

#### **4.18 Analisis *Meshing Sensivity* Konstruksi Geladak.**

*Sensitivity analysis* perlu dilakukan untuk memastikan bahwa tegangan yg terjadi pada hasil luaran analisis telah benar dan mendekati nilai kebenaran. Dalam tugas akhir ini, uji sensitivitas dilakukan melalui variasi kerapatan dalam *meshing*. Berdasarkan variasi kerapatan *meshing* yang telah diuji, maka didapatkan hasil *maximum principal stress*. Dari beberapa hasil tegangan yang dihasilkan dianalisis dan didapatkan perbedaan hasil kurang dari 5%. Pada tugas akhir ini dilakukan *running* dengan kondisi kerapatan *meshing* seperti pada gambar berikut.



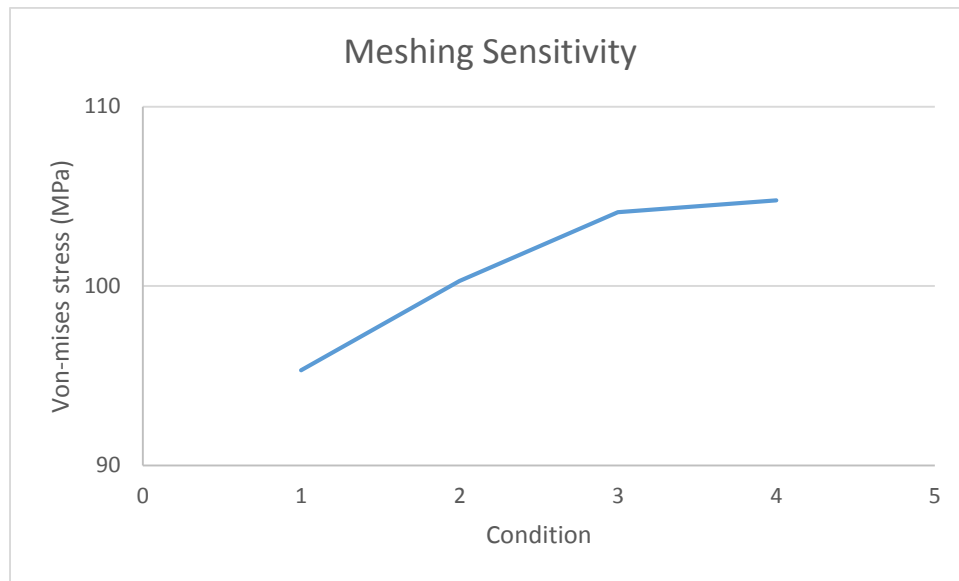
**Gambar 4.50** Proses *Meshing* pada *Software ANSYS*.

Berdasarkan variasi *meshing* yang dilakukan, didapatkan tabulasi *meshing* dan *maximum principal stress* yang dihasilkan pada tabel dan gambar sebagai berikut:

**Tabel 4.23** Hasil Perhitungan *Meshing Sensitivity*

Condition	Mesh. Sizing (mm)	Max Stress (Mpa)	Error
1	550	90.84	
2	450	98.69	0.079542
3	350	103.12	0.04296
4	300	104.77	0.015749



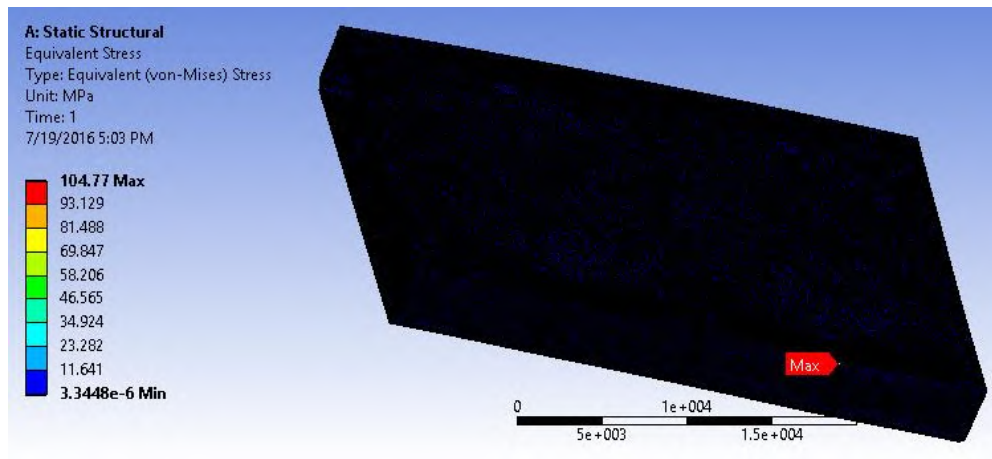


**Gambar 4.51** Grafik *Meshing Sensitivity* pada masing-masing kondisi pembebanan.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas meshing seperti pada Gambar 4.36 di atas dapat disimpulkan bahwa model konstruksi lambung *barge* dapat dimodelkan pada ukuran *mesh* 0.30 meter karena hasil perhitungan *error* untuk *mesh* dengan ukuran tersebut kurang dari 5%.

#### **4.19 Analisis Tegangan pada Konstruksi Geladak *Barge***

Pada analisa pembebanan konstruksi geladak *barge*. Beban-beban yang dimasukkan dalam analisa adalah beban-beban yang telah dihitung sebelumnya. Yaitu beban massa *container crane*, beban karena gerakan kapal, *moment* dan *shear force* pada kekuatan memanjang kapal, dan beban angin. Konstruksi yang di analisa diasumsikan tumpuan jepit pada salah satu sisi. Kombinasi beban yang di inputkan adalah, *shear force* dan *bending moment* secara memanjang kapal (*fulload*) pada perairan regular wave, beban karena gerakan *heave*, *pitch* dan *roll*, dan beban angin. Berikut hasil output dari analisa tegangan *von-mises* pada *ansys*:

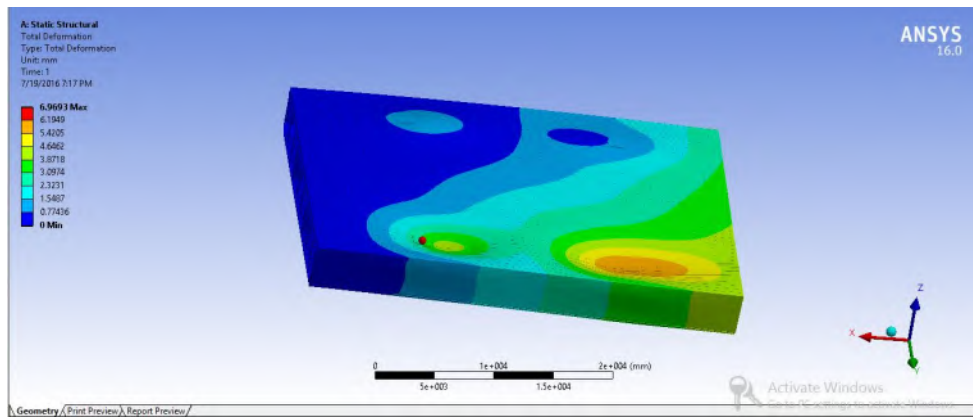


**Gambar 4.52** *Equivalent (von-Mises) Stress* pada geladak dan lambung kapal.

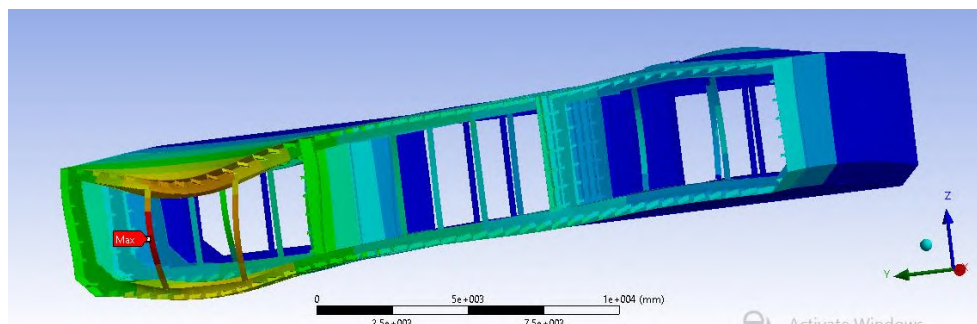
Berdasarkan hasil analisa *software ANSYS* tegangan maksimal yang terjadi pada konstruksi hull adalah sebesar 104.77 MPa. Kemudian dengan menggunakan pilihan *probe* pada *ansys*, bisa dilihat bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada geladak saja adalah sebesar 12.601 MPa

Orientation	Global Coordinate System
Suppressed	No
[-] Options	
Result Selection	Equivalent (von-Mises)
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
Spatial Resolution	Use Maximum
[+] Results	
[-] Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> Equivalent (von-Mises)	12.601 MPa
[-] Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> Equivalent (von-Mises)	12.601 MPa
[+] Information	

**Gambar 4.53** *Equivalent (von-Mises) Stress* Pada Konstruksi Geladak Barge.



**Gambar 4.54** Deformasi Maksimum yang Terjadi Pada Geladak.



**Gambar 4.55** Besar Deformasi Yang Terjadi pada Konstruksi Geladak.

## Lampiran Data Gen Sacs

```

LDOPT    NF+Z1.0280007.849000          GLOBMN
OPTIONS C  MN  FXSDAA  1 1B DC A  PTPTPTPTPT PT
CODE AA          1.000
SECT
SECT 300X300 BOX          50.0005.00052.0005.000
SECT B16    BOX          79.0006.00080.0006.000
SECT H34    BOX          56.0005.50060.0005.500
SECT SM50Y  BOX          180.002.500114.501.400
GRUP
GRUP B16 B16          20.007.72224.82 1  1.001.00      3.20-2
GRUP H30 300X300      20.007.72224.82 1  1.001.00      3.20-2
GRUP H34 H34          20.007.72224.80 1  1.001.00      7.8490
GRUP SM5 SM50Y        20.007.72255.15 1  1.001.00      7.8490
MEMBER
MEMBER100080009 B16
MEMBER OFFSETS          -27.90      -27.90
MEMBER100150014 B16
MEMBER OFFSETS          -27.90      -27.90
MEMBER 00210035 B16
MEMBER 00230036 B16
MEMBER100350037 H30
MEMBER OFFSETS          -130.0
MEMBER100360038 H30
MEMBER OFFSETS          -130.0
MEMBER100350027 H34

```

MEMBER OFFSETS		-130.0	
MEMBER100360028 H34			
MEMBER OFFSETS		-130.0	
MEMBER 00000003 SM5			
MEMBER 00010010 SM5			
MEMBER 00020004 SM5			
MEMBER100020065 SM5			
MEMBER OFFSETS	60.000	60.000	
MEMBER 00030005 SM5			
MEMBER100030075 SM5			
MEMBER OFFSETS	60.000	60.000	
MEMBER100040005 SM5			
MEMBER OFFSETS	72.000	-60.00-72.00	-60.00
MEMBER 00040008 SM5			
MEMBER 00040030 SM5			
MEMBER 00050009 SM5			
MEMBER 00060011 SM5			
MEMBER 00070002 SM5			
MEMBER100080024 SM5			
MEMBER OFFSETS	-60.00	-60.00	
MEMBER 00080035 SM5			
MEMBER100090021 SM5			
MEMBER OFFSETS	-60.00	-60.00	
MEMBER 00100013 SM5			
MEMBER 00110012 SM5			
MEMBER100120013 SM5			
MEMBER OFFSETS	72.000	-60.00-72.00	-60.00

MEMBER 00120015 SM5		
MEMBER 00120033 SM5		
MEMBER 00130014 SM5		
MEMBER 00150036 SM5		
MEMBER100210022 SM5		
MEMBER OFFSETS	-60.00	-60.00
MEMBER100210027 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100220023 SM5		
MEMBER OFFSETS	-60.00	-60.00
MEMBER100230014 SM5		
MEMBER OFFSETS	-60.00	-60.00
MEMBER100230028 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100240021 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100240025 SM5		
MEMBER OFFSETS	-60.00	-60.00
MEMBER100250026 SM5		
MEMBER OFFSETS	-60.00	-60.00
MEMBER100260015 SM5		
MEMBER OFFSETS	-60.00	-60.00
MEMBER100260023 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100270049 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100280048 SM5		

MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER 00300009 SM5		
MEMBER100310032 SM5		
MEMBER OFFSETS	75.000	-180.075.000 -180.0
MEMBER100310037 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100320038 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER 00330014 SM5		
MEMBER100350036 SM5		
MEMBER OFFSETS	-75.00	-75.00
MEMBER100370038 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100370042 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100380041 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100400072 SM5		
MEMBER OFFSETS	60.000	60.000
MEMBER100410044 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100420041 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100420045 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0
MEMBER100440026 SM5		
MEMBER OFFSETS	-180.0	-180.0

MEMBER100450024 SM5				
MEMBER OFFSETS				-180.0      -180.0
MEMBER100450044 SM5				
MEMBER OFFSETS				-180.0      -180.0
MEMBER100460079 SM5				
MEMBER OFFSETS				60.000      60.000
MEMBER100480049 SM5				
MEMBER OFFSETS				-180.0      -180.0
MEMBER100490051 SM5				
MEMBER OFFSETS				-180.0      -180.0
MEMBER100520048 SM5				
MEMBER OFFSETS				-180.0      -180.0
MEMBER100650040 SM5				
MEMBER OFFSETS				60.000      60.000
MEMBER100720011 SM5				
MEMBER OFFSETS				60.000      60.000
MEMBER100750046 SM5				
MEMBER OFFSETS				60.000      60.000
MEMBER100790010 SM5				
MEMBER OFFSETS				60.000      60.000
JOINT				
JOINT 0000	10.	0.	-3.	-43.000 FIXED
JOINT 0001	10.	27.	-3.	60.000-43.000 FIXED
JOINT 0002	-10.	0.	0.	
JOINT 0003	10.	0.	0.	
JOINT 0004	-10.	0.	11.	60.000
JOINT 0005	10.	0.	11.	60.000



JOINT 0006	-10.	27.	-3.	60.000-43.000	FIXED
JOINT 0007	-10.	0.	-3.	-43.000	FIXED
JOINT 0008	-7.	0.	46.-20.000	25.000	
JOINT 0009	10.	0.	46.	25.000	
JOINT 0010	10.	27.	0.	60.000	
JOINT 0011	-10.	27.	0.	60.000	
JOINT 0012	-10.	27.	11.	60.000	60.000
JOINT 0013	10.	27.	11.	60.000	60.000
JOINT 0014	10.	27.	46.	60.000	25.000
JOINT 0015	-7.	27.	46.-20.000	60.000	25.000
JOINT 0021	10.	6.	46.	90.000	25.000
JOINT 0022	10.	13.	46.	80.000	25.000
JOINT 0023	10.	20.	46.	70.000	25.000
JOINT 0024	-7.	6.	46.-20.000	90.000	25.000
JOINT 0025	-7.	13.	46.-20.000	80.000	25.000
JOINT 0026	-7.	20.	46.-20.000	70.000	25.000
JOINT 0027	31.	6.	46.	40.000	90.000
JOINT 0028	31.	20.	46.	40.000	70.000
JOINT 0030	0.	0.	30.	75.269	22.903
JOINT 0031	-54.	6.	46.-85.000	90.000	25.000
JOINT 0032	-54.	20.	46.-85.000	70.000	25.000
JOINT 0033	0.	27.	30.	75.269	60.000
JOINT 0035	-7.	6.	69.-20.000	90.000	7.600
JOINT 0036	-7.	20.	69.-20.000	70.000	7.600
JOINT 0037	-39.	6.	46.-40.001	90.000	25.000
JOINT 0038	-39.	20.	46.-40.001	70.000	25.000
JOINT 0040	-10.	13.	0.	80.000	

JOINT 0041	-31.	20.	46.-50.000	70.000	25.000
JOINT 0042	-31.	6.	46.-50.000	90.000	25.000
JOINT 0044	-11.	20.	46.-30.000	70.000	25.000
JOINT 0045	-11.	6.	46.-30.000	90.000	25.000
JOINT 0046	10.	13.	0.	80.000	
JOINT 0048	33.	20.	46.	30.000	70.000 25.000
JOINT 0049	33.	6.	46.	30.000	90.000 25.000
JOINT 0051	33.	5.	46.	30.000	90.000 25.000
JOINT 0052	33.	21.	46.	30.000	70.000 25.000
JOINT 0065	-10.	3.	0.		
JOINT 0072	-10.	24.	0.	60.000	
JOINT 0075	10.	3.	0.		
JOINT 0079	10.	24.	0.	60.000	

# AREA

AREACX1587.0	1.40	13.80	40.341.00000005001300350036	A
AREACY 1150.0	-0.88	1.38	36.961.000000050035000400080009	F

# LOAD

## LOADCN 00

LOAD Z 00080009	-0.1377	-0.1377	GLOBAL UNIFORM SW
LOAD Z 00150014	-0.1377	-0.1377	GLOBAL UNIFORM SW
LOAD Z 00210035	-0.1377	-0.1377	GLOBAL UNIFORM SW
LOAD Z 00230036	-0.1377	-0.1377	GLOBAL UNIFORM SW
LOAD Z 00350027	-0.1377	-0.1377	GLOBAL UNIFORM SW
LOAD Z 00350037	-0.1377	-0.1377	GLOBAL UNIFORM SW
LOAD Z 00360028	-0.1377	-0.1377	GLOBAL UNIFORM SW
LOAD Z 00360038	-0.1377	-0.1377	GLOBAL UNIFORM SW
LOAD Z 00030005	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM SW

LOAD Z 00040008	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00040030	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00050009	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00080024	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00080035	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00090021	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00100013	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00110012	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00120015	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00120033	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00130014	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00150036	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00210022	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00210027	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00220023	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00230014	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00230028	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00240021	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00240025	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00250026	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00260015	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00260023	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00270049	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00280048	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00300009	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00310032	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00310037	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW

LOAD Z 00320038	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00330014	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00350036	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00370038	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00370042	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00380041	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00410044	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00420041	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00420045	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00440026	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00450024	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00450044	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00480049	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00490051	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW
LOAD Z 00520048	-7.3820	-7.3820	GLOBAL UNIFORM	SW

# LOADCN 01

LOAD Z 00310032	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00310037	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00320038	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00380041	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00370042	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00420045	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00410044	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00440026	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00260023	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00230028	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00210027	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND

LOAD Z 00480049	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00270049	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00490051	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00280048	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00520048	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00450024	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00370038	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00420041	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00450044	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00240025	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00250026	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00080024	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00220023	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00210022	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00090021	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00240021	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00260015	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOAD Z 00230014	-0.1000	-0.1000	GLOBAL UNIFORM	HAND
LOADCN 02				
LOAD Z 00230028	-10.000	-10.000	GLOBAL UNIFORM	CTRLW
LOAD Z 00210027	-10.000	-10.000	GLOBAL UNIFORM	CTRLW
LOADCN 03				
WIND				
WIND1D 12.000 1.00000 135.00 0.00ABS				
LOAD Z 00050009	-1.0000	-1.0000	GLOBAL UNIFORM	LADDER
LOAD Z 00030005	-1.0000	-1.0000	GLOBAL UNIFORM	LADDER
LOADCNWIND4				

WIND

WIND D 12.000 180.00 ABS CXC Y

END

\*\*PHY1\*\*T0002-0011 THRO0002-0065 MEM0065-0040 MEM0040-0072  
MEM0072-0011 MEM

\*\*PHY1\*\*T0003-0010 THRO0003-0075 MEM0075-0046 MEM0046-0079  
MEM0079-0010 MEM

\*\*PHY1\*\*T0004-0009 THRO0004-0030 MEM0030-0009 MEM

\*\*PHY1\*\*T0008-0015 THRO0008-0024 MEM0024-0025 MEM0025-0026  
MEM0026-0015 MEM

\*\*PHY1\*\*T0009-0014 THRO0009-0021 MEM0021-0022 MEM0022-0023  
MEM0023-0014 MEM

\*\*PHY1\*\*T0012-0014 THRO0012-0033 MEM0033-0014 MEM

\*\*JNCV\*\* 0 0 0 0 0 1

\*\*UNIT\*\* 0 (mm) 9 (kN/m2) 10(ksi)

END

## **Lampiran input MAXSURF**

**Draft Amidships m    0.601**  
**Displacement t 900.0**  
**Heel deg            0.0**  
**Draft at FP m 0.704**  
**Draft at AP m 0.498**  
**Draft at LCF m        0.599**  
**Trim (+ve by stern) m -0.206**  
**WL Length m 65.472**  
**Beam max extents on WL m 24.390**  
**Wetted Area m<sup>2</sup>      1609.703**  
**Waterpl. Area m<sup>2</sup>    1577.477**  
**Prismatic coeff. (Cp) 0.850**  
**Block coeff. (Cb)      0.826**  
**Max Sect. area coeff. (Cm) 0.975**  
**Waterpl. area coeff. (Cwp) 0.988**  
**LCB from zero pt. (+ve fwd) m        40.528**  
**LCF from zero pt. (+ve fwd) m        39.705**  
**KB m 0.309**  
**KG fluid m 2.264**  
**BMt m 87.594**  
**BML m            629.732**  
**GMt corrected m        85.639**  
**GML m            627.777**  
**KMt m 87.903**  
**KML m            630.039**

Immersion (TPc) tonne/cm    16.169  
MTc tonne.m    69.453  
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m    1345.152  
Max deck inclination deg    0.1450  
Trim angle (+ve by stern) deg -0.1450

Draft Amidships m    1.597  
Displacement t 2603  
Heel deg    0.0  
Draft at FP m 1.596  
Draft at AP m 1.598  
Draft at LCF m    1.597  
Trim (+ve by stern) m 0.002  
WL Length m 72.326  
Beam max extents on WL m 24.390  
Wetted Area m<sup>2</sup>    1896.464  
Waterpl. Area m<sup>2</sup>    1736.698  
Prismatic coeff. (Cp) 0.909  
Block coeff. (Cb)    0.901  
Max Sect. area coeff. (Cm)    0.990  
Waterpl. area coeff. (Cwp)    0.985  
LCB from zero pt. (+ve fwd) m    39.424  
LCF from zero pt. (+ve fwd) m    39.778  
KB m 0.829  
KG fluid m    17.152  
BMt m 33.137  
BML m    290.387  
GMt corrected m    16.814



**GML m            274.064**  
**KMt m 33.966**  
**KML m            291.216**  
**Immersion (TPc) tonne/cm    17.801**  
**MTc tonne.m   87.679**  
**RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m            763.707**  
**Max deck inclination deg        0.0016**  
**Trim angle (+ve by stern) deg 0.0016**

**Draft Amidships m    3.000**  
**Displacement t 5223**  
**Heel deg            0.0**  
**Draft at FP m   3.000**  
**Draft at AP m   3.000**  
**Draft at LCF m        3.000**  
**Trim (+ve by stern) m 0.000**  
**WL Length m   80.351**  
**Beam max extents on WL m   24.390**  
**Wetted Area m^2        2263.964**  
**Waterpl. Area m^2    1901.077**  
**Prismatic coeff. (Cp)   0.871**  
**Block coeff. (Cb)        0.867**  
**Max Sect. area coeff. (Cm)    0.995**  
**Waterpl. area coeff. (Cwp)    0.970**  
**LCB from zero pt. (+ve fwd) m            39.491**  
**LCF from zero pt. (+ve fwd) m            39.177**  
**KB m   1.571**  
**KG fluid m    9.294**

**BMt m 17.876**

**BML m 190.509**

**GMt corrected m 10.154**

**GML m 182.787**

**KMt m 19.448**

**KML m 192.080**

**Immersion (TPc) tonne/cm 19.486**

**MTc tonne.m 117.367**

**RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m 925.683**

**Max deck inclination deg 0.0000**

**Trim angle (+ve by stern) deg 0.0000**

Name	Long. Pos.	Mass	Buoyancy		Grounding		Damage/NBV	Net	Load
	Shear	Moment							
	m	t/m	t/m	t/m	t/m	t/m	tonne	tonne.m	
st 0	0.000	3.741	0.000	0.000	0.000	3.741	0.000	0.000	
st 1	1.807	5.294	0.000	0.000	0.000	5.294	8.168	6.982	
st 2	3.614	6.993	0.000	0.000	0.000	6.993	19.386	31.552	
st 3	5.421	8.116	0.000	0.000	0.000	8.116	32.715	78.269	
st 4	7.228	9.355	-1.341	0.000	0.000	8.015	48.114	151.157	
st 5	9.035	11.013	-10.316	0.000	0.000	0.697	54.975	246.001	
st 6	10.842	11.677	-12.821	0.000	0.000	-1.144	52.850	343.598	
st 7	12.649	12.350	-12.935	0.000	0.000	-0.585	51.748	438.046	
st 8	14.456	12.350	-13.049	0.000	0.000	-0.699	50.588	530.492	
st 9	16.263	12.350	-13.163	0.000	0.000	-0.813	49.222	620.666	
st 10	18.070	12.350	-13.277	0.000	0.000	-0.927	47.651	708.204	
st 11	19.877	12.350	-13.391	0.000	0.000	-1.041	45.876	792.736	
st 12	21.684	12.350	-13.505	0.000	0.000	-1.155	43.887	873.734	
st 13	23.491	12.350	-13.619	0.000	0.000	-1.269	41.691	950.896	
st 14	25.298	12.350	-13.733	0.000	0.000	-1.383	39.298	1024.118	
st 15	27.105	12.350	-13.847	0.000	0.000	-1.497	36.701	1092.907	
st 16	28.912	12.350	-13.961	0.000	0.000	-1.611	33.891	1156.620	
st 17	30.719	12.350	-14.075	0.000	0.000	-1.726	30.866	1214.837	
st 18	32.526	12.350	-14.190	0.000	0.000	-1.840	27.650	1267.848	
st 19	34.333	12.350	-14.304	0.000	0.000	-1.954	24.232	1315.002	
st 20	36.140	12.350	-14.418	0.000	0.000	-2.069	20.580	1354.918	
st 21	37.947	12.350	-14.533	0.000	0.000	-2.183	16.740	1388.663	
st 22	39.754	12.350	-14.647	0.000	0.000	-2.297	12.704	1415.671	

st 23	41.561	12.350	-14.762	0.000	0.000	-2.412	8.445	1434.637
st 24	43.368	12.350	-14.876	0.000	0.000	-2.526	3.971	1445.367
st 25	45.175	12.350	-14.991	0.000	0.000	-2.641	-0.687	1448.767
st 26	46.982	12.350	-15.105	0.000	0.000	-2.756	-5.557	1443.336
st 27	48.789	12.350	-15.220	0.000	0.000	-2.870	-10.658	1427.885
st 28	50.596	12.350	-15.334	0.000	0.000	-2.985	-15.942	1404.083
st 29	52.403	12.350	-15.449	0.000	0.000	-3.099	-21.424	1371.004
st 30	54.210	12.350	-15.563	0.000	0.000	-3.214	-27.142	1326.437
st 31	56.017	12.350	-15.678	0.000	0.000	-3.328	-33.060	1271.621
st 32	57.824	12.350	-15.793	0.000	0.000	-3.443	-39.169	1206.801
st 33	59.631	12.350	-15.907	0.000	0.000	-3.557	-45.482	1131.000
st 34	61.438	12.350	-16.022	0.000	0.000	-3.672	-52.019	1042.582
st 35	63.245	12.350	-16.136	0.000	0.000	-3.787	-58.770	941.759
st 36	65.052	12.350	-16.210	0.000	0.000	-3.861	-65.682	829.019
st 37	66.859	12.350	-15.354	0.000	0.000	-3.004	-71.930	704.821
st 38	68.666	11.185	-12.537	0.000	0.000	-1.352	-76.123	571.074
st 39	70.473	10.360	-7.594	0.000	0.000	2.765	-75.016	434.044
st 40	72.280	8.923	-1.543	0.000	0.000	7.380	-66.747	303.835
st 41	74.087	7.733	0.000	0.000	0.000	7.733	-52.429	198.395
st 42	75.894	7.258	0.000	0.000	0.000	7.258	-38.824	114.651
st 43	77.701	6.770	0.000	0.000	0.000	6.770	-26.118	56.269
st 44	79.508	5.970	0.000	0.000	0.000	5.970	-14.504	19.263
st 45	81.350	4.953	0.000	0.000	0.000	4.953	-3.942	1.986

Name	Long. Pos. Shear	Mass Moment	Buoyancy		Grounding	Damage/NBV	Net	Load
	m	t/m	t/m	t/m	t/m	t/m	x10^3 tonne	x10^3 tonne.m

st 0	0.000	3.741	0.000	0.000	0.000	3.741	0.000	0.000
st 1	1.807	5.294	0.000	0.000	0.000	5.294	0.008	0.007
st 2	3.614	6.993	0.000	0.000	0.000	6.993	0.019	0.032
st 3	5.421	8.536	-11.348	0.000	0.000	-2.812	0.025	0.074
st 4	7.228	14.761	-26.986	0.000	0.000	-12.225	0.010	0.107
st 5	9.035	24.324	-37.089	0.000	0.000	-12.764	-0.013	0.104
st 6	10.842	27.283	-39.552	0.000	0.000	-12.269	-0.036	0.060
st 7	12.649	27.957	-39.553	0.000	0.000	-11.596	-0.057	-0.025
st 8	14.456	27.959	-39.555	0.000	0.000	-11.596	-0.078	-0.147
st 9	16.263	27.961	-39.557	0.000	0.000	-11.596	-0.099	-0.307
st 10	18.070	27.962	-39.558	0.000	0.000	-11.596	-0.120	-0.505
st 11	19.877	27.956	-39.560	0.000	0.000	-11.604	-0.141	-0.740
st 12	21.684	27.957	-39.561	0.000	0.000	-11.604	-0.162	-1.014
st 13	23.491	27.959	-39.563	0.000	0.000	-11.604	-0.183	-1.326
st 14	25.298	27.960	-39.564	0.000	0.000	-11.604	-0.204	-1.677
st 15	27.105	27.962	-39.566	0.000	0.000	-11.604	-0.225	-2.063
st 16	28.912	27.963	-39.568	0.000	0.000	-11.604	-0.246	-2.488
st 17	30.719	27.957	-39.569	0.000	0.000	-11.612	-0.267	-2.951
st 18	32.526	70.583	-39.571	0.000	0.000	31.012	-0.213	-3.386
st 19	34.333	70.584	-39.572	0.000	0.000	31.012	-0.157	-3.720
st 20	36.140	70.586	-39.574	0.000	0.000	31.012	-0.101	-3.953
st 21	37.947	70.587	-39.575	0.000	0.000	31.012	-0.045	-4.087
st 22	39.754	67.052	-39.577	0.000	0.000	27.475	0.005	-4.120
st 23	41.561	67.054	-39.579	0.000	0.000	27.475	0.055	-4.068
st 24	43.368	67.055	-39.580	0.000	0.000	27.475	0.105	-3.919
st 25	45.175	67.057	-39.582	0.000	0.000	27.475	0.154	-3.689
st 26	46.982	67.058	-39.583	0.000	0.000	27.475	0.204	-3.366
st 27	48.789	67.052	-39.585	0.000	0.000	27.467	0.253	-2.952
st 28	50.596	24.429	-39.586	0.000	0.000	-15.157	0.289	-2.453

st 29	52.403	24.431	-39.588	0.000	0.000	-15.157	0.262	-1.956
st 30	54.210	24.433	-39.590	0.000	0.000	-15.157	0.235	-1.506
st 31	56.017	24.434	-39.591	0.000	0.000	-15.157	0.207	-1.107
st 32	57.824	24.428	-39.593	0.000	0.000	-15.165	0.180	-0.757
st 33	59.631	24.429	-39.594	0.000	0.000	-15.165	0.152	-0.457
st 34	61.438	24.431	-39.596	0.000	0.000	-15.165	0.125	-0.207
st 35	63.245	24.433	-39.597	0.000	0.000	-15.165	0.098	-0.005
st 36	65.052	24.433	-39.528	0.000	0.000	-15.095	0.070	0.147
st 37	66.859	22.109	-38.421	0.000	0.000	-16.312	0.041	0.247
st 38	68.666	19.894	-35.091	0.000	0.000	-15.197	0.012	0.293
st 39	70.473	17.389	-29.193	0.000	0.000	-11.804	-0.013	0.291
st 40	72.280	13.600	-21.686	0.000	0.000	-8.086	-0.031	0.252
st 41	74.087	9.375	-12.068	0.000	0.000	-2.693	-0.041	0.186
st 42	75.894	8.109	-2.724	0.000	0.000	5.384	-0.038	0.113
st 43	77.701	6.770	0.000	0.000	0.000	6.770	-0.026	0.056
st 44	79.508	5.970	0.000	0.000	0.000	5.970	-0.014	0.019
st 45	81.350	4.953	0.000	0.000	0.000	4.953	-0.004	0.002

Name	Long. Pos. Shear m	Pos. Moment t/m	Mass t/m	Buoyancy t/m		Grounding t/m		Damage/NBV x10 <sup>3</sup> tonne	Net x10 <sup>3</sup> tonne.m	Load
st 0	0.000	3.741	0.000	0.000	0.000	3.741	0.000	0.000		
st 1	1.807	5.949	-15.344	0.000	0.000	-9.395	-0.005	-0.001		
st 2	3.614	16.165	-31.216	0.000	0.000	-15.051	-0.029	-0.031		
st 3	5.421	33.042	-47.090	0.000	0.000	-14.048	-0.056	-0.109		
st 4	7.228	49.922	-62.732	0.000	0.000	-12.810	-0.081	-0.233		
st 5	9.035	61.710	-72.860	0.000	0.000	-11.149	-0.102	-0.399		
st 6	10.842	68.137	-75.366	0.000	0.000	-7.229	-0.122	-0.601		
st 7	12.649	68.814	-75.370	0.000	0.000	-6.556	-0.134	-0.832		
st 8	14.456	68.818	-75.374	0.000	0.000	-6.556	-0.145	-1.084		
st 9	16.263	68.822	-75.379	0.000	0.000	-6.556	-0.157	-1.358		
st 10	18.070	68.827	-75.383	0.000	0.000	-6.556	-0.169	-1.653		
st 11	19.877	68.809	-75.387	0.000	0.000	-6.578	-0.181	-1.969		
st 12	21.684	68.814	-75.391	0.000	0.000	-6.578	-0.193	-2.307		
st 13	23.491	68.818	-75.396	0.000	0.000	-6.578	-0.205	-2.666		
st 14	25.298	68.822	-75.400	0.000	0.000	-6.578	-0.217	-3.047		
st 15	27.105	98.941	-75.404	0.000	0.000	23.537	-0.217	-3.445		
st 16	28.912	98.945	-75.409	0.000	0.000	23.537	-0.175	-3.800		
st 17	30.719	92.626	-75.413	0.000	0.000	17.213	-0.143	-4.086		
st 18	32.526	92.630	-75.417	0.000	0.000	17.213	-0.112	-4.317		
st 19	34.333	92.635	-75.421	0.000	0.000	17.213	-0.081	-4.491		
st 20	36.140	92.639	-75.426	0.000	0.000	17.213	-0.050	-4.608		
st 21	37.947	92.643	-75.430	0.000	0.000	17.213	-0.019	-4.671		
st 22	39.754	92.626	-75.434	0.000	0.000	17.191	0.012	-4.676		
st 23	41.561	92.630	-75.439	0.000	0.000	17.191	0.044	-4.626		
st 24	43.368	92.634	-75.443	0.000	0.000	17.191	0.075	-4.517		

st 25	45.175	92.639	-75.447	0.000	0.000	17.191	0.106	-4.356
st 26	46.982	92.643	-75.451	0.000	0.000	17.191	0.137	-4.137
st 27	48.789	92.626	-75.456	0.000	0.000	17.170	0.168	-3.862
st 28	50.596	92.630	-75.460	0.000	0.000	17.170	0.199	-3.531
st 29	52.403	92.634	-75.464	0.000	0.000	17.170	0.230	-3.144
st 30	54.210	92.638	-75.468	0.000	0.000	17.170	0.261	-2.701
st 31	56.017	62.528	-75.473	0.000	0.000	-12.945	0.241	-2.245
st 32	57.824	62.571	-75.477	0.000	0.000	-12.906	0.218	-1.831
st 33	59.631	62.574	-75.481	0.000	0.000	-12.908	0.194	-1.459
st 34	61.438	62.576	-75.486	0.000	0.000	-12.909	0.171	-1.130
st 35	63.245	62.579	-75.490	0.000	0.000	-12.911	0.148	-0.842
st 36	65.052	62.576	-75.394	0.000	0.000	-12.818	0.124	-0.596
st 37	66.859	63.229	-74.156	0.000	0.000	-10.926	0.103	-0.391
st 38	68.666	58.186	-70.427	0.000	0.000	-12.241	0.081	-0.225
st 39	70.473	51.337	-63.698	0.000	0.000	-12.361	0.059	-0.098
st 40	72.280	41.893	-54.950	0.000	0.000	-13.058	0.036	-0.010
st 41	74.087	31.262	-42.662	0.000	0.000	-11.400	0.014	0.034
st 42	75.894	24.600	-29.833	0.000	0.000	-5.234	0.000	0.045
st 43	77.701	12.625	-16.533	0.000	0.000	-3.908	-0.008	0.037
st 44	79.508	5.974	-4.852	0.000	0.000	1.123	-0.012	0.018
st 45	81.350	4.953	0.000	0.000	0.000	4.953	-0.004	0.002



	Ballasting	Item Nam	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	<input type="checkbox"/>	Lightship	1	904.000	904.000			40.525	0.000	2.264	0.000	User S
2	<input type="checkbox"/>	CC	1	831.168	831.168			40.525	0.000	39.782	0.000	User S
3	<input type="checkbox"/>	Tank001	85%	158.102	134.387	154.246	131.109	7.272	0.000	1.684	480.630	Maximu
4	<input type="checkbox"/>	Tank002	100%	230.654	230.654	225.028	225.028	15.255	0.000	1.512	0.000	Maximu
5	<input type="checkbox"/>	Tank003	100%	230.654	230.654	225.028	225.028	24.405	0.000	1.512	0.000	Maximu
6	<input type="checkbox"/>	Tank004	35%	230.654	80.729	225.028	78.760	33.555	0.000	0.529	419.987	Maximu
7	<input type="checkbox"/>	Tank005	35%	230.654	80.729	225.028	78.760	42.705	0.000	0.529	419.987	Maximu
8	<input type="checkbox"/>	Tank006	90%	230.654	207.589	225.028	202.525	51.855	0.000	1.361	419.987	Maximu
9	<input type="checkbox"/>	Tank007	90%	231.410	208.269	225.766	203.189	61.020	0.000	1.361	421.364	Maximu
10	<input type="checkbox"/>	Tank008	100%	201.346	201.346	196.435	196.435	69.850	0.000	1.682	0.000	Maximu
11	<input type="checkbox"/>	Tank009	70%	49.086	34.360	47.889	33.522	76.475	0.000	2.155	252.095	Maximu
12	<input type="checkbox"/>	Tank010	65%	156.791	101.914	152.967	99.428	7.648	8.083	1.430	479.789	Maximu
13	<input type="checkbox"/>	Tank011	75%	228.909	171.682	223.326	167.494	15.255	8.091	1.147	419.986	Maximu
14	<input type="checkbox"/>	Tank012	75%	228.909	171.682	223.326	167.494	24.405	8.091	1.147	419.986	Maximu
15	<input type="checkbox"/>	Tank013	35%	228.909	80.118	223.326	78.164	33.555	8.046	0.544	419.986	Maximu
16	<input type="checkbox"/>	Tank014	35%	228.909	80.118	223.326	78.164	42.705	8.046	0.544	419.986	Maximu
17	<input type="checkbox"/>	Tank015	70%	228.909	160.236	223.326	156.328	51.855	8.088	1.072	419.986	Maximu
18	<input type="checkbox"/>	Tank016	70%	229.644	160.751	224.043	156.830	61.020	8.088	1.072	421.329	Maximu
19	<input type="checkbox"/>	Tank017	54%	183.776	99.239	179.293	96.818	69.351	7.771	1.062	355.664	Maximu
20	<input type="checkbox"/>	Tank018	54%	25.689	13.872	25.063	13.534	76.037	6.423	1.998	52.839	Maximu
21	<input type="checkbox"/>	Tank019	65%	156.791	101.914	152.967	99.428	7.648	-8.083	1.430	479.789	Maximu
22	<input type="checkbox"/>	Tank020	75%	228.909	171.682	223.326	167.494	15.255	-8.091	1.147	419.986	Maximu
23	<input type="checkbox"/>	Tank021	75%	228.909	171.682	223.326	167.494	24.405	-8.091	1.147	419.986	Maximu
24	<input type="checkbox"/>	Tank022	35%	228.909	80.118	223.326	78.164	33.555	-8.046	0.544	419.986	Maximu
25	<input type="checkbox"/>	Tank023	35%	228.909	80.118	223.326	78.164	42.705	-8.046	0.544	419.986	Maximu
26	<input type="checkbox"/>	Tank024	70%	228.909	160.236	223.326	156.328	51.855	-8.088	1.072	419.986	Maximu
27	<input type="checkbox"/>	Tank025	70%	229.644	160.751	224.043	156.830	61.020	-8.088	1.072	421.329	Maximu
28	<input type="checkbox"/>	Tank026	54%	183.776	99.239	179.293	96.818	69.351	-7.771	1.062	355.664	Maximu
29	<input type="checkbox"/>	Tank027	54%	25.689	13.872	25.063	13.534	76.037	-6.423	1.998	52.839	Maximu
30	<input type="checkbox"/>	Total Loa			5223.108	5145.467	3402.869	39.492	0.000	7.526	9233.558	
31	<input type="checkbox"/>	FS correc								1.768		
◀ ▶ Loadcase 1 ◀ HALF LOAD ◀ Lightship ◀ FULL LOAD ◀ empty LC 5 ◀ empty LC 6 ◀ empty LC 7 ◀ ◀												

	Ballasting	Item Nam	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	<input type="checkbox"/>	Lightship	1	900.000	900.000			40.525	0.000	2.264	0.000	User S
2	<input type="checkbox"/>	Tank001	0%	158.102	0.000	154.246	0.000	9.724	0.000	0.000	0.000	Maximu
3	<input type="checkbox"/>	Tank002	0%	230.654	0.000	225.028	0.000	15.255	0.000	0.000	0.000	Maximu
4	<input type="checkbox"/>	Tank003	0%	230.654	0.000	225.028	0.000	24.405	0.000	0.000	0.000	Maximu
5	<input type="checkbox"/>	Tank004	0%	230.654	0.000	225.028	0.000	33.555	0.000	0.000	0.000	Maximu
6	<input type="checkbox"/>	Tank005	0%	230.654	0.000	225.028	0.000	42.705	0.000	0.000	0.000	Maximu
7	<input type="checkbox"/>	Tank006	0%	230.654	0.000	225.028	0.000	51.855	0.000	0.000	0.000	Maximu
8	<input type="checkbox"/>	Tank007	0%	231.410	0.000	225.766	0.000	61.020	0.000	0.000	0.000	Maximu
9	<input type="checkbox"/>	Tank008	0%	201.346	0.000	196.435	0.000	66.121	0.000	0.000	0.000	Maximu
10	<input type="checkbox"/>	Tank009	0%	49.086	0.000	47.889	0.000	74.797	0.000	1.147	0.000	Maximu
11	<input type="checkbox"/>	Tank010	0%	156.791	0.000	152.967	0.000	9.724	7.825	0.000	0.000	Maximu
12	<input type="checkbox"/>	Tank011	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	15.255	7.825	0.000	0.000	Maximu
13	<input type="checkbox"/>	Tank012	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	24.405	7.825	0.000	0.000	Maximu
14	<input type="checkbox"/>	Tank013	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	33.555	7.825	0.000	0.000	Maximu
15	<input type="checkbox"/>	Tank014	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	42.705	7.825	0.000	0.000	Maximu
16	<input type="checkbox"/>	Tank015	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	51.855	7.825	0.000	0.000	Maximu
17	<input type="checkbox"/>	Tank016	0%	229.644	0.000	224.043	0.000	61.020	7.825	0.000	0.000	Maximu
18	<input type="checkbox"/>	Tank017	0%	183.776	0.000	179.293	0.000	66.120	7.802	0.000	0.000	Maximu
19	<input type="checkbox"/>	Tank018	0%	25.689	0.000	25.063	0.000	74.797	6.416	1.147	0.000	Maximu
20	<input type="checkbox"/>	Tank019	0%	156.791	0.000	152.967	0.000	9.724	-7.825	0.000	0.000	Maximu
21	<input type="checkbox"/>	Tank020	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	15.255	-7.825	0.000	0.000	Maximu
22	<input type="checkbox"/>	Tank021	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	24.405	-7.825	0.000	0.000	Maximu
23	<input type="checkbox"/>	Tank022	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	33.555	-7.825	0.000	0.000	Maximu
24	<input type="checkbox"/>	Tank023	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	42.705	-7.825	0.000	0.000	Maximu
25	<input type="checkbox"/>	Tank024	0%	228.909	0.000	223.326	0.000	51.855	-7.825	0.000	0.000	Maximu
26	<input type="checkbox"/>	Tank025	0%	229.644	0.000	224.043	0.000	61.020	-7.825	0.000	0.000	Maximu
27	<input type="checkbox"/>	Tank026	0%	183.776	0.000	179.293	0.000	66.120	-7.802	0.000	0.000	Maximu
28	<input type="checkbox"/>	Tank027	0%	25.689	0.000	25.063	0.000	74.797	-6.416	1.147	0.000	Maximu
29	<input type="checkbox"/>	Total Loa			900.000	5145.467	0.000	40.525	0.000	2.264	0.000	
30	<input type="checkbox"/>	FS correc								0.000		
31	<input type="checkbox"/>	VCG fluid								2.264		

	Ballasting	Item Nam	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	<input type="checkbox"/>	Lightship	1	904.000	904.000			40.525	0.000	2.264	0.000	User S
2	<input type="checkbox"/>	CC	1	831.168	831.168			40.525	0.000	39.782	0.000	User S
3	<input type="checkbox"/>	Tank001	85%	158.102	134.387	154.246	131.109	7.272	0.000	1.684	480.630	Maximu
4	<input type="checkbox"/>	Tank002	100%	230.654	230.654	225.028	225.028	15.255	0.000	1.512	0.000	Maximu
5	<input type="checkbox"/>	Tank003	100%	230.654	230.654	225.028	225.028	24.405	0.000	1.512	0.000	Maximu
6	<input type="checkbox"/>	Tank004	35%	230.654	80.729	225.028	78.760	33.555	0.000	0.529	419.987	Maximu
7	<input type="checkbox"/>	Tank005	35%	230.654	80.729	225.028	78.760	42.705	0.000	0.529	419.987	Maximu
8	<input type="checkbox"/>	Tank006	90%	230.654	207.589	225.028	202.525	51.855	0.000	1.361	419.987	Maximu
9	<input type="checkbox"/>	Tank007	90%	231.410	208.269	225.766	203.189	61.020	0.000	1.361	421.364	Maximu
10	<input type="checkbox"/>	Tank008	100%	201.346	201.346	196.435	196.435	69.850	0.000	1.682	0.000	Maximu
11	<input type="checkbox"/>	Tank009	70%	49.086	34.360	47.889	33.522	76.475	0.000	2.155	252.095	Maximu
12	<input type="checkbox"/>	Tank010	65%	156.791	101.914	152.967	99.428	7.648	8.083	1.430	479.789	Maximu
13	<input type="checkbox"/>	Tank011	75%	228.909	171.682	223.326	167.494	15.255	8.091	1.147	419.986	Maximu
14	<input type="checkbox"/>	Tank012	75%	228.909	171.682	223.326	167.494	24.405	8.091	1.147	419.986	Maximu
15	<input type="checkbox"/>	Tank013	35%	228.909	80.118	223.326	78.164	33.555	8.046	0.544	419.986	Maximu
16	<input type="checkbox"/>	Tank014	35%	228.909	80.118	223.326	78.164	42.705	8.046	0.544	419.986	Maximu
17	<input type="checkbox"/>	Tank015	70%	228.909	160.236	223.326	156.328	51.855	8.088	1.072	419.986	Maximu
18	<input type="checkbox"/>	Tank016	70%	229.644	160.751	224.043	156.830	61.020	8.088	1.072	421.329	Maximu
19	<input type="checkbox"/>	Tank017	54%	183.776	99.239	179.293	96.818	69.351	7.771	1.062	355.864	Maximu
20	<input type="checkbox"/>	Tank018	54%	25.689	13.872	25.063	13.534	76.037	6.423	1.998	52.839	Maximu
21	<input type="checkbox"/>	Tank019	65%	156.791	101.914	152.967	99.428	7.648	-8.083	1.430	479.789	Maximu
22	<input type="checkbox"/>	Tank020	75%	228.909	171.682	223.326	167.494	15.255	-8.091	1.147	419.986	Maximu
23	<input type="checkbox"/>	Tank021	75%	228.909	171.682	223.326	167.494	24.405	-8.091	1.147	419.986	Maximu
24	<input type="checkbox"/>	Tank022	35%	228.909	80.118	223.326	78.164	33.555	-8.046	0.544	419.986	Maximu
25	<input type="checkbox"/>	Tank023	35%	228.909	80.118	223.326	78.164	42.705	-8.046	0.544	419.986	Maximu
26	<input type="checkbox"/>	Tank024	70%	228.909	160.236	223.326	156.328	51.855	-8.088	1.072	419.986	Maximu
27	<input type="checkbox"/>	Tank025	70%	229.644	160.751	224.043	156.830	61.020	-8.088	1.072	421.329	Maximu
28	<input type="checkbox"/>	Tank026	54%	183.776	99.239	179.293	96.818	69.351	-7.771	1.062	355.864	Maximu
29	<input type="checkbox"/>	Tank027	54%	25.689	13.872	25.063	13.534	76.037	-6.423	1.998	52.839	Maximu
30	<input type="checkbox"/>	Total Loa			5223.108	5145.467	3402.869	39.492	0.000	7.526	9233.558	
31	<input type="checkbox"/>	FS correc								1.768		
◀ ▶ Loadcase 1 X HALF LOAD X Lightship X FULL LOAD X empty LC 5 X empty LC 6 X empty LC 7 X ▶												

## Density



	Fluid	Code	Specific gravity	Density tonne/m <sup>3</sup>	Density bbls/t	API Gravity	Color
1	Sea Water	S	1.0250	1.0250	6.1364		Green
2	Water Ballast	B	1.0250	1.0250	6.1364		Green
3	Fresh Water	W	1.0000	1.0000	6.2898		Cyan
4	Diesel	D	0.8400	0.8400	7.4879	36.95	Brown
5	Fuel Oil	F	0.9443	0.9443	6.6608	18.35	Dark Green
6	Lube Oil	L	0.9200	0.9200	6.8368	22.30	Olive
7	ANS Crude	C	0.8883	0.8883	7.0807	27.79	Dark Purple
8	DMA (ISO 8217)	DMA	0.8900	0.8900	7.0672	27.49	Dark Green
9	DMB (ISO 8217)	DMB	0.9000	0.9000	6.9887	25.72	Dark Green
10	DMC (ISO 8217)	DMC	0.9200	0.9200	6.8368	22.30	Dark Green
11	Gasoline leaded	G	0.7499	0.7499	8.3875	57.19	Purple
12	Unlead. Gas.	U	0.7499	0.7499	8.3875	57.19	Grey
13	JFA	J	0.8203	0.8203	7.6677	41.00	Light Green
14	MTBE	M	0.7471	0.7471	8.4190	57.90	Yellow
15	Gasoil	GO	0.8524	0.8524	7.3789	34.50	Yellow
16	Slops	SL	0.9130	0.9130	6.8892	23.48	Dark Green
17	Custom 1	C1	1.0000	1.0000	6.2898	10.00	Orange
18	Custom 2	C2	1.0000	1.0000	6.2898	10.00	Orange

Default Densities

OK

Cancel



## Lampiran Ansys



## Project

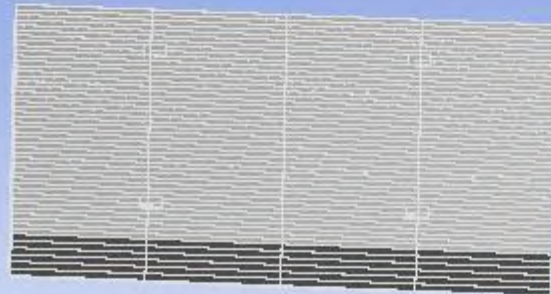
First Saved	Monday, July 18, 2016
Last Saved	Tuesday, July 19, 2016
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



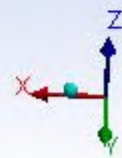
**Model**

8/1/2016 4:08 PM

**ANSYS**  
16.0



0 2e+004 (mm)  
1e+004



# Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [AcDbLine](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Remote Points](#)
    - [Remote Point](#)
  - [Mesh](#)
    - [Mesh Controls](#)
  - [Static Structural \(A5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(A6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
      - [Probes](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, t, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Model (A4)

### Geometry

TABLE 2  
Model (A4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\zulwaqor\Desktop\IMEM\revisi oke_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	



Length X	36762 mm
Length Y	24406 mm
Length Z	4372. mm
<b>Properties</b>	
Volume	3.5394e+010 mm <sup>3</sup>
Mass	277.84 t
Scale Factor Value	1.
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	1241879
Elements	661172
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\zulwaqor\AppData\Roaming\Ansys\v160
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>AcDbLine</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment

Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	36762 mm
Length Y	24406 mm
Length Z	4372. mm
Properties	
Volume	3.5394e+010 mm <sup>3</sup>
Mass	277.84 t
Centroid X	11312 mm
Centroid Y	-3638.7 mm
Centroid Z	-1747.1 mm
Moment of Inertia Ip1	1.6138e+010 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	3.4011e+010 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	4.8157e+010 t·mm <sup>2</sup>
Statistics	
Nodes	1241879
Elements	661172
Mesh Metric	None

## Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. mm
Origin Y	0. mm
Origin Z	0. mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[ 1. 0. 0. ]
Y Axis Data	[ 0. 1. 0. ]
Z Axis Data	[ 0. 0. 1. ]

## Remote Points

**TABLE 5**  
**Model (A4) > Remote Points**

Object Name	<i>Remote Points</i>
State	Fully Defined

Display	
Show Connection Lines	No

**TABLE 6**  
**Model (A4) > Remote Points > Remote Point**

Object Name	<i>Remote Point</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Faces
Coordinate System	Global Coordinate System
X Coordinate	-6641.2 mm
Y Coordinate	-3641.7 mm
Z Coordinate	-2124.9 mm
Location	Defined
Definition	
Suppressed	No
Behavior	Deformable
Pinball Region	All
DOF Selection	Program Controlled

## Mesh

**TABLE 7**  
**Model (A4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	4.50 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5

Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Patch Conforming Options</b>	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
<b>Patch Independent Options</b>	
Topology Checking	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	1241879
Elements	661172
Mesh Metric	None

**TABLE 8**  
**Model (A4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	Body Sizing	Patch Conforming Method
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Body	
Definition		
Suppressed	No	
Type	Element Size	
Element Size	300. mm	
Behavior	Soft	
Method		Tetrahedrons
Algorithm		Patch Conforming
Element Midside Nodes		Use Global Setting

## Static Structural (A5)

**TABLE 9**  
**Model (A4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

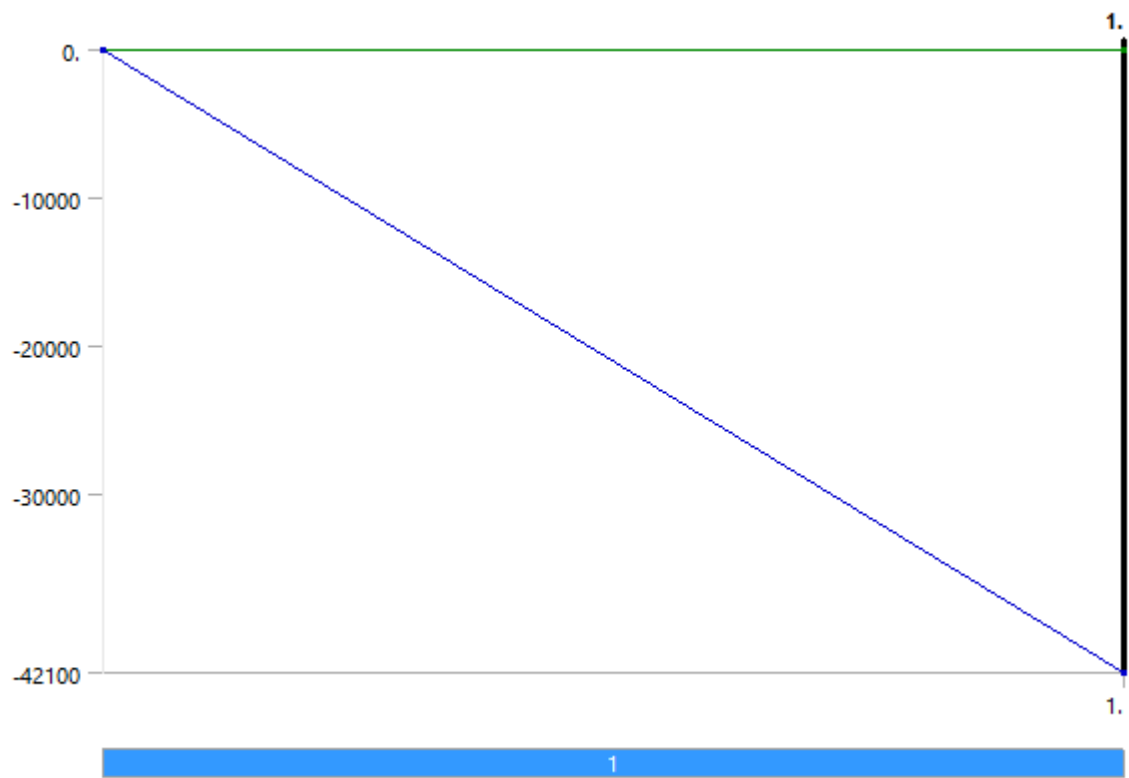
**TABLE 10**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	C:\Users\zulwaqor\Desktop\IMEM\revisi oke_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None



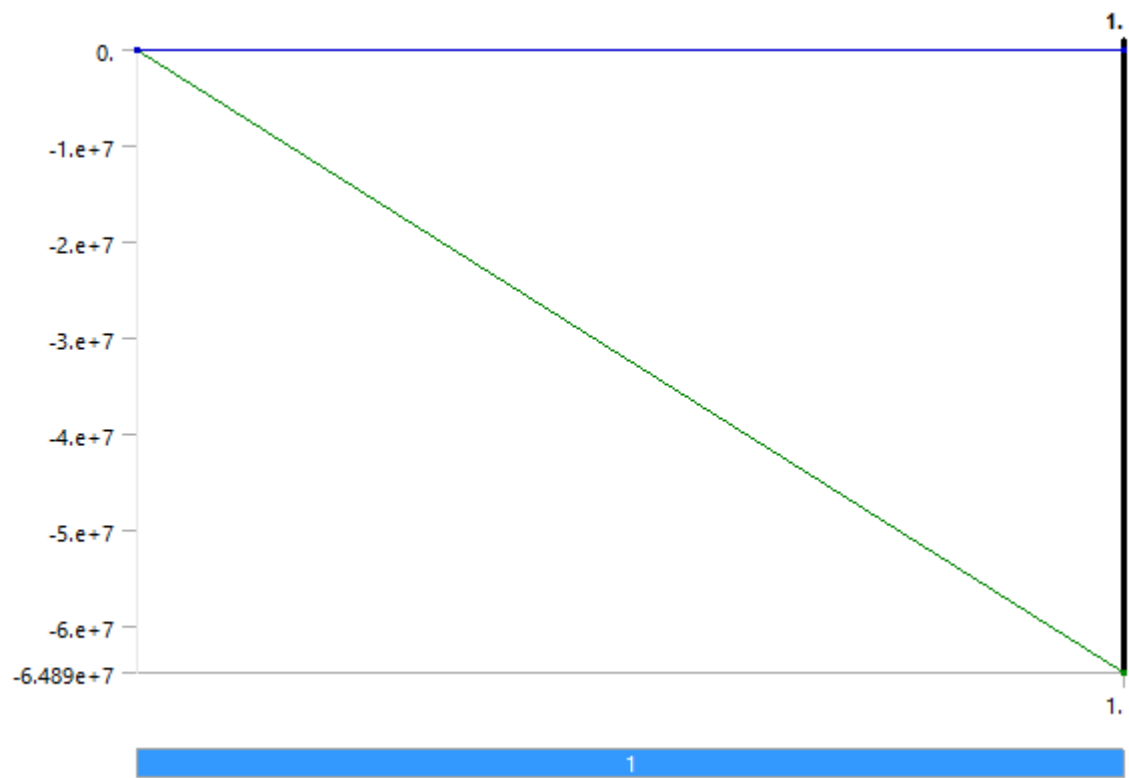
Y Compo nent		0. N (rampe d)	- 6.489e+ 007 N·mm (rampe d)								
Z Compo nent		-42100 N (rampe d)	0. N·mm (rampe d)								
Behavio r		Deformable									
Coordin ate System			Global Coordin ate System								
Magnitu de				- 12760 N (ramp ed)	- 12426 N (ramp ed)	- 17861 N (ramp ed)	- 17871 N (ramp ed)	52646 N (ramp ed)	51262 N (ramp ed)	- 73687 N (ramp ed)	- 73726 N (ramp ed)
Directio n				Defined							
Advanced											
Pinball Region		All									

**FIGURE 1**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Remote Force**

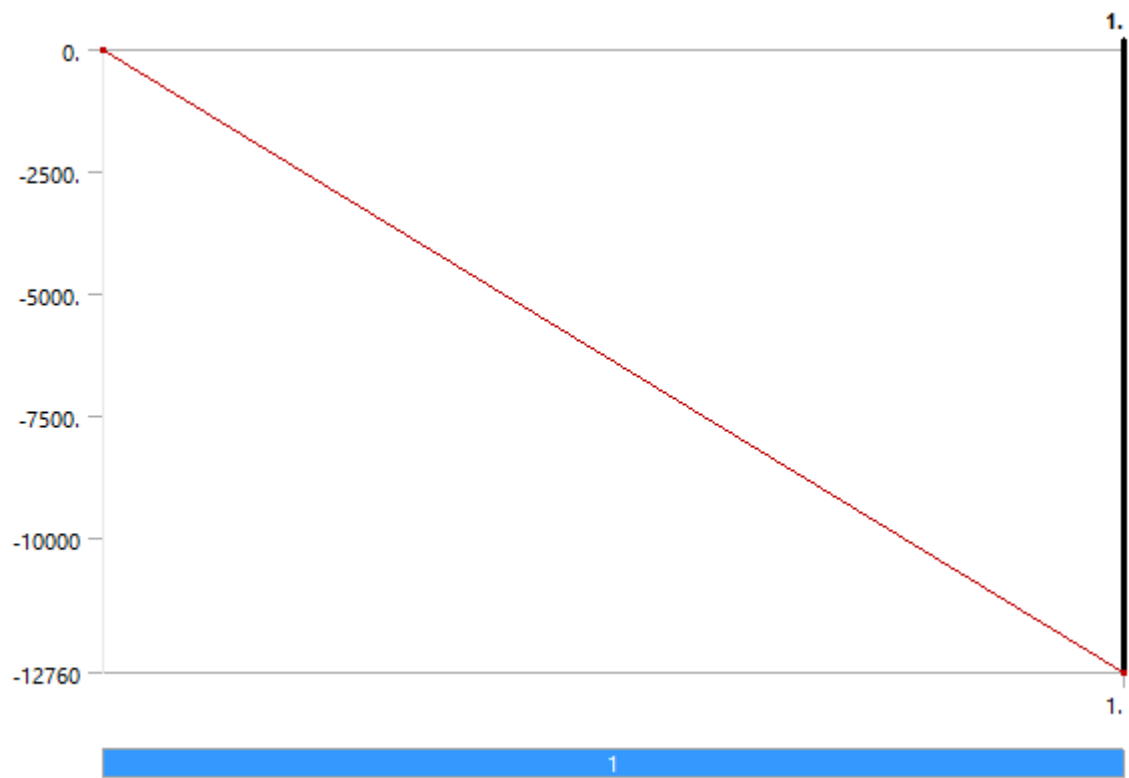


**FIGURE 2**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Moment**

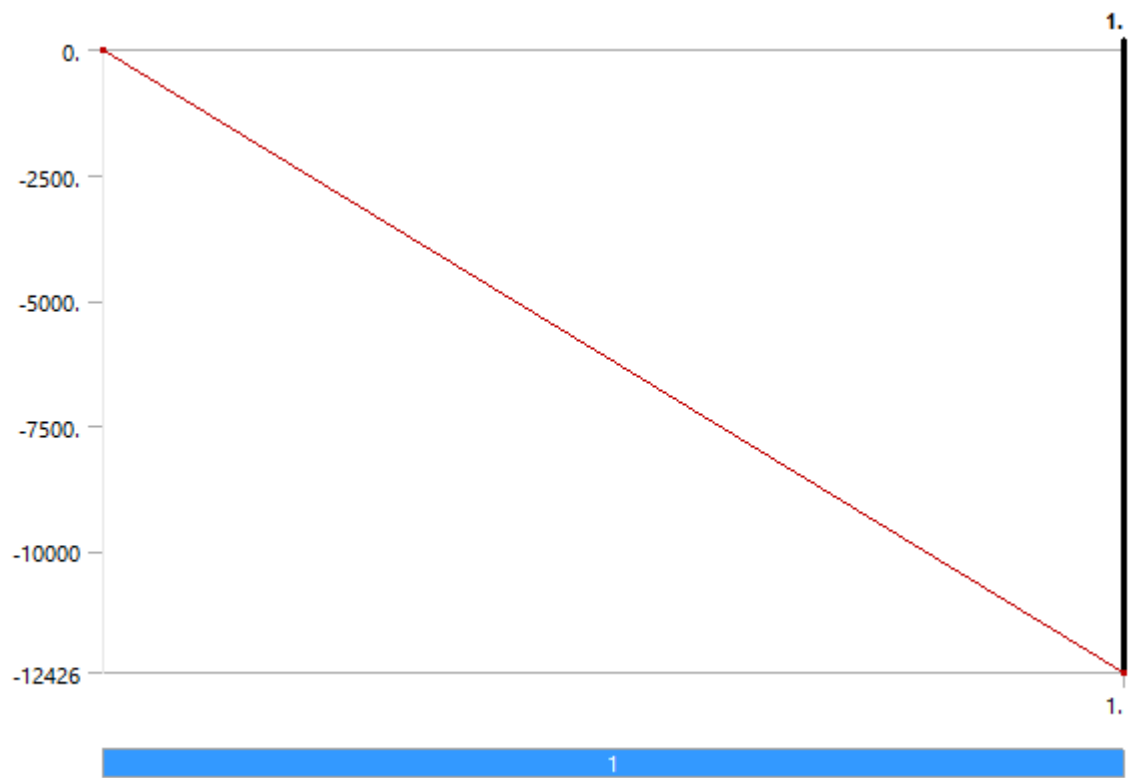




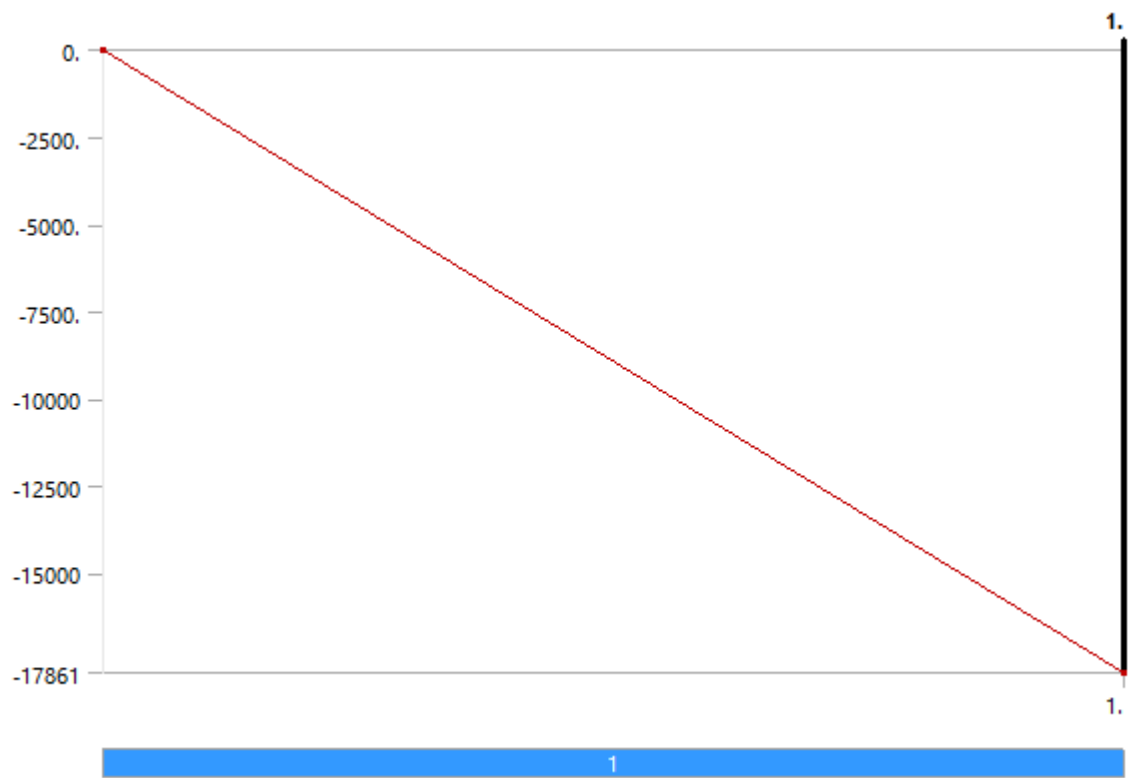
**FIGURE 3**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > HEAVE 1**



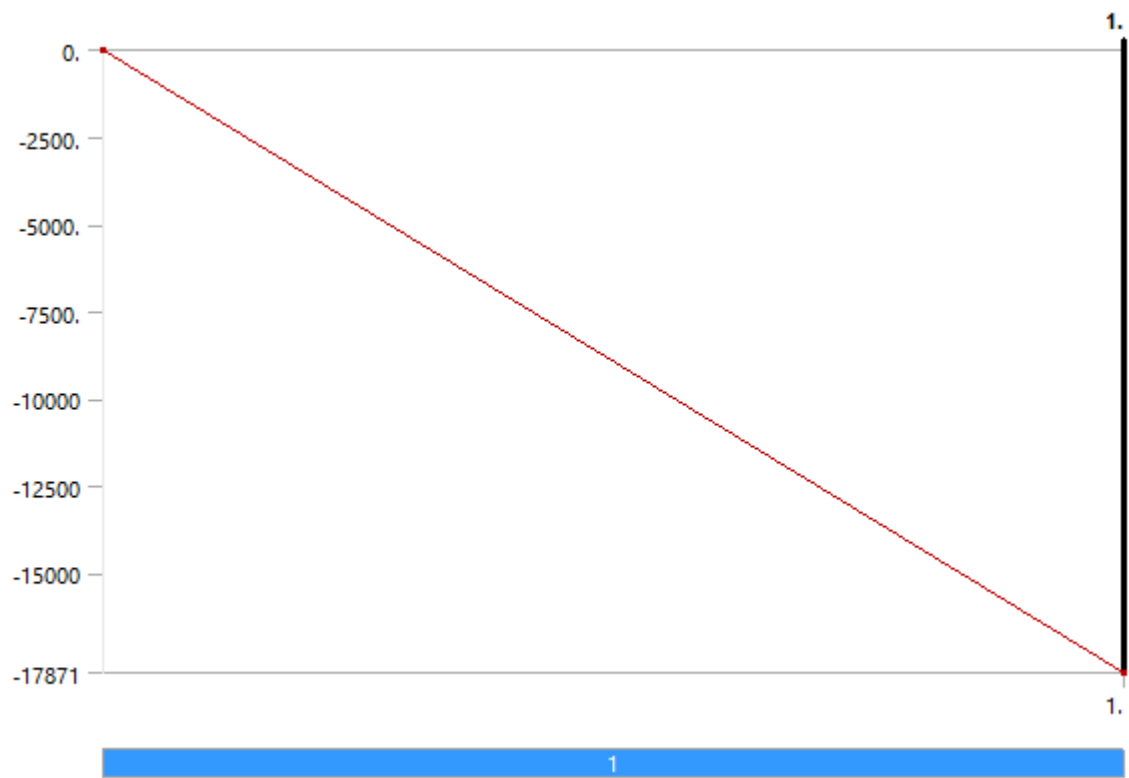
**FIGURE 4**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > HEAVE 2**



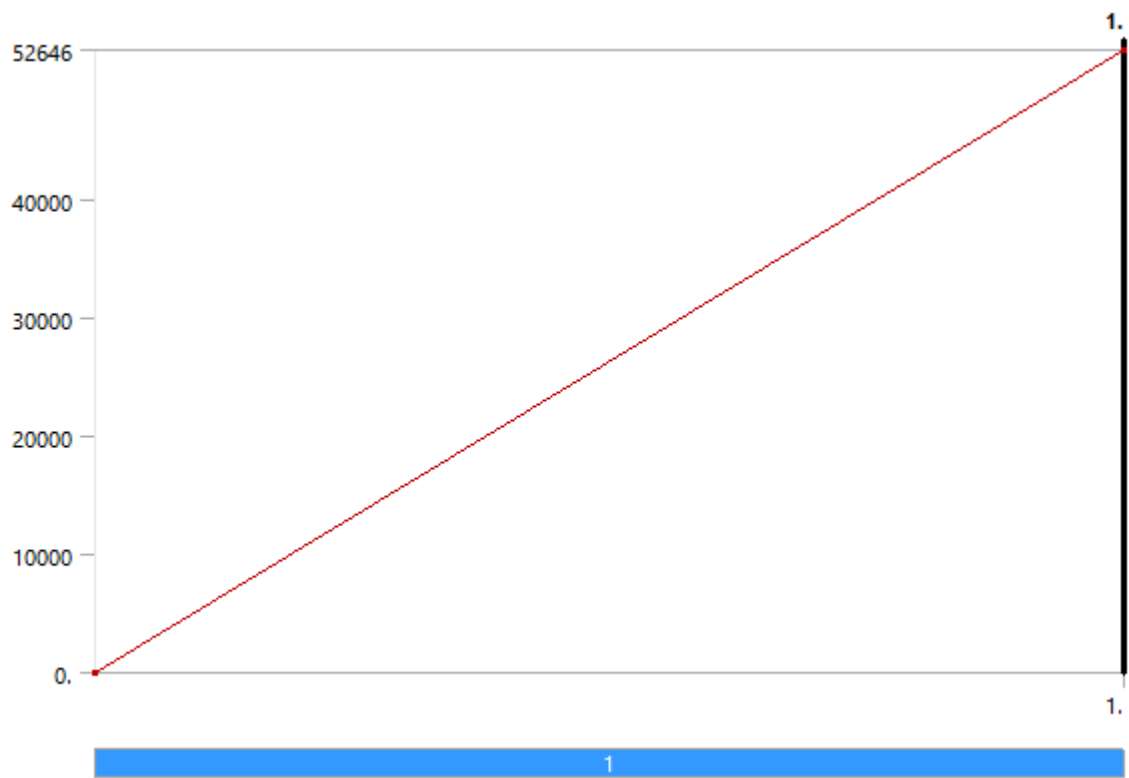
**FIGURE 5**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > HEAVE3**



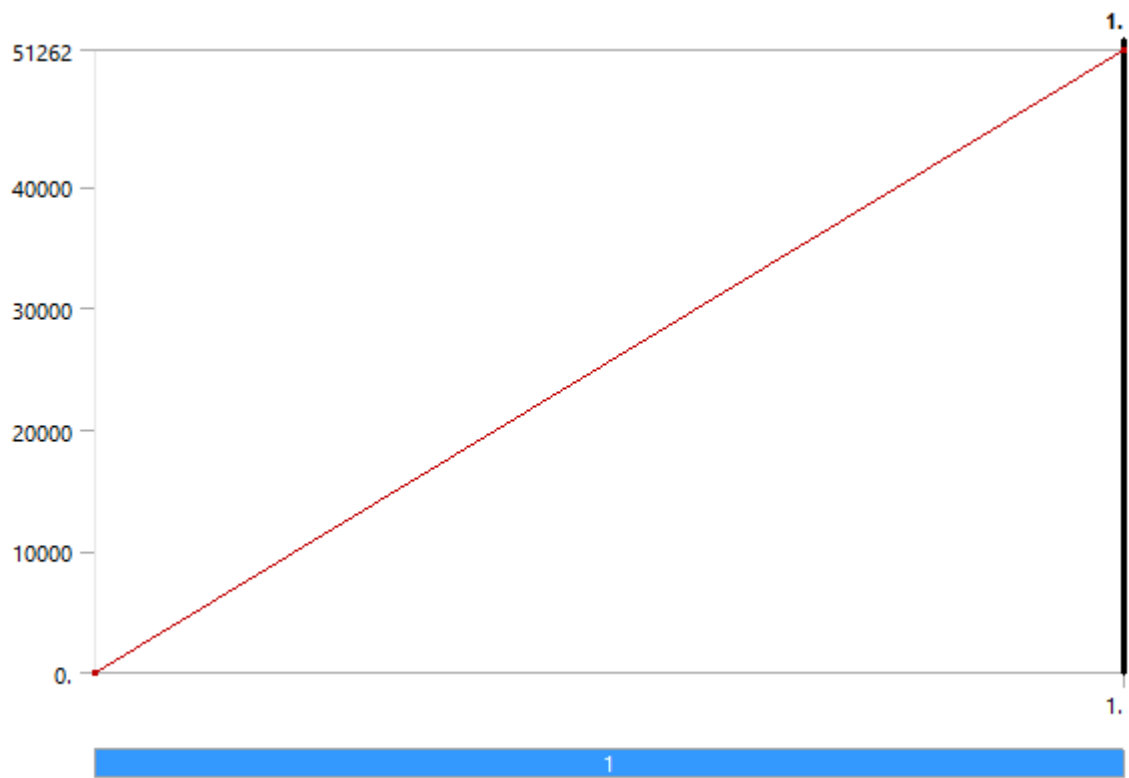
**FIGURE 6**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > HEAVE 4**



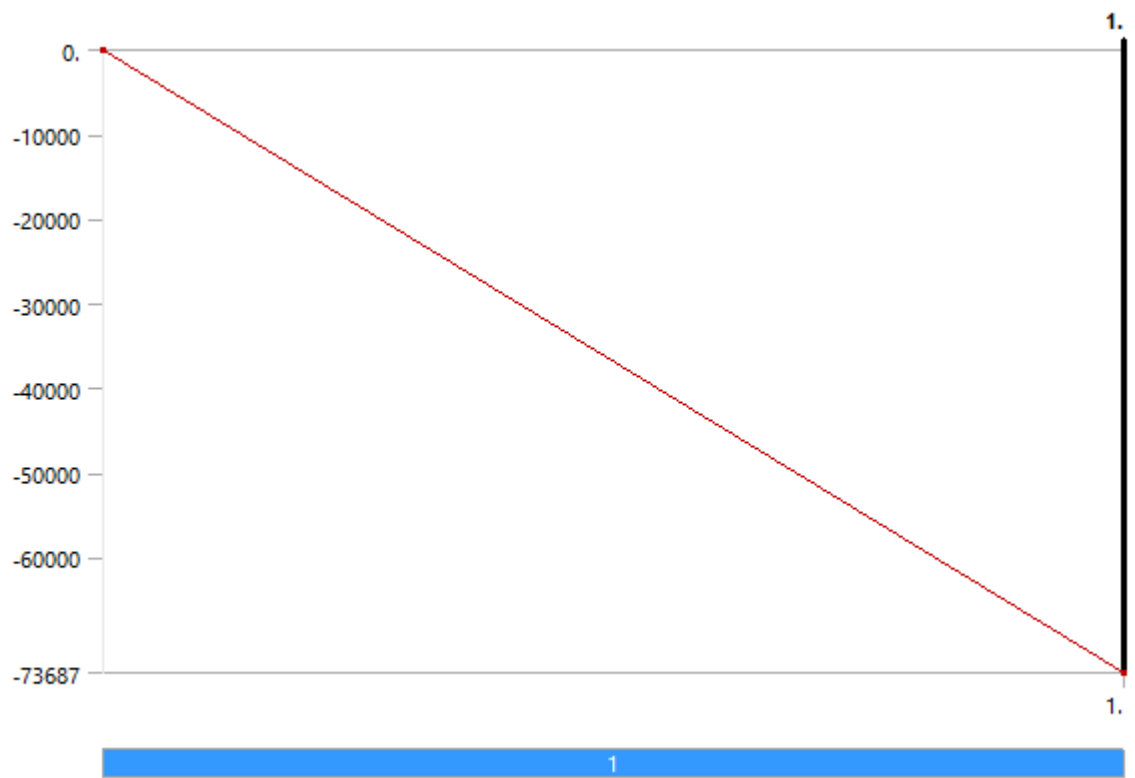
**FIGURE 7**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > ROLL 1**



**FIGURE 8**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > ROLL 2**

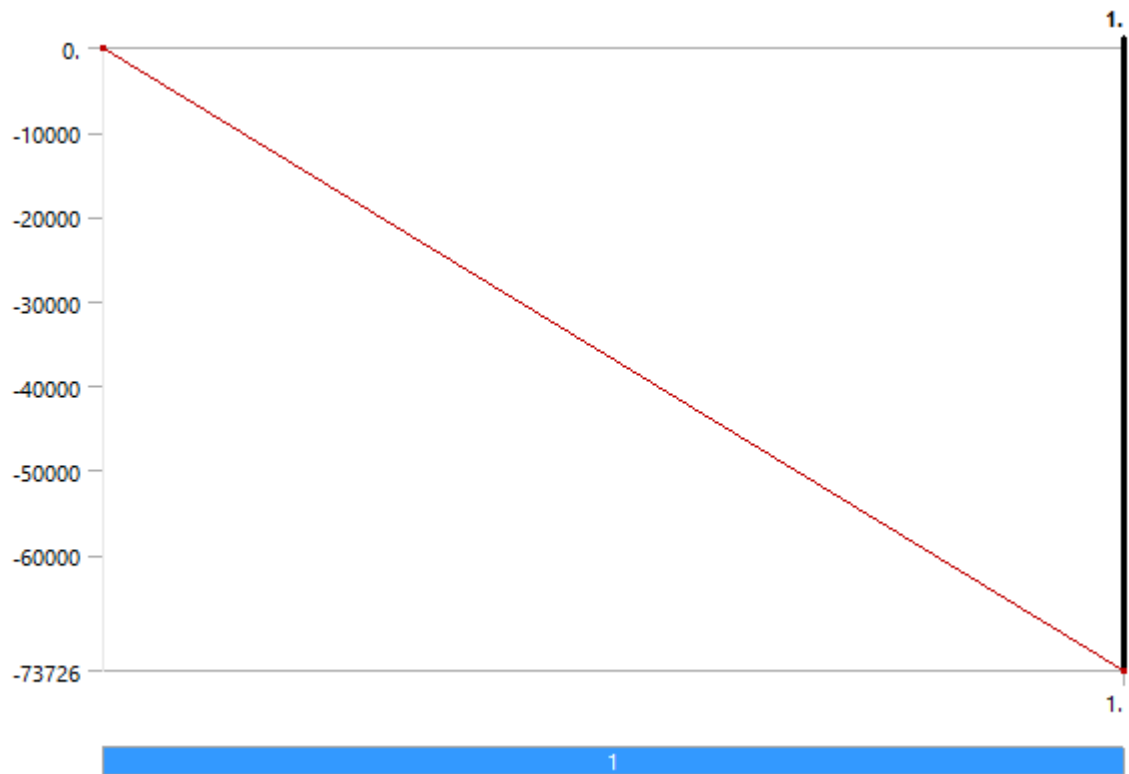


**FIGURE 9**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > ROLL3**



**FIGURE 10**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > ROLL 4**



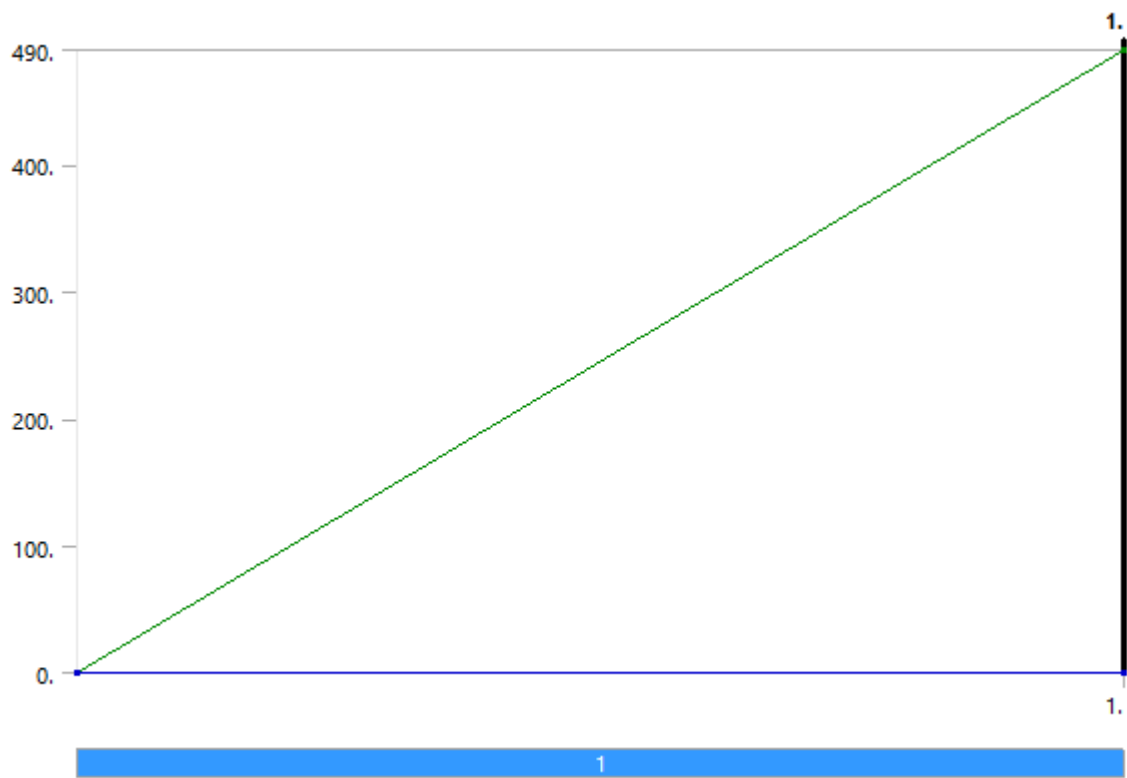


**TABLE 12**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

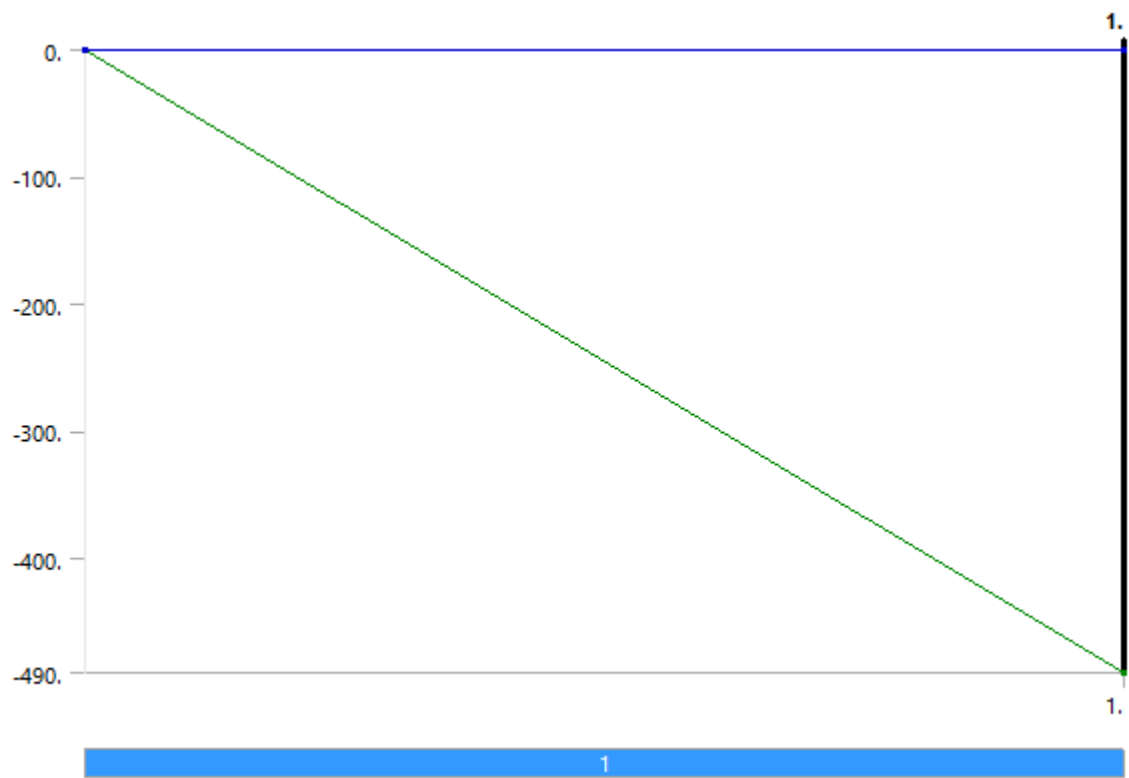
Object Name	Hydrostatic Pressure	Hydrostatic Pressure 2	PITCH 1	PITCH 2	PITCH 3	PITCH 4	Force	Force 2	Force 3	Force 4
State	Fully Defined									
Scope										
Scoping Method	Geometry Selection									
Geometry	2 Faces		1 Face							
Definition										
Type	Hydrostatic Pressure		Force							
Coordinate System	Global Coordinate System						Global Coordinate System			
Suppressed	No									
Fluid Density	1.025e+009 t/mm³									
Define By			Vector				Components			

Magnitude		-7371. N (ramped)	7177. N (ramped)	10317 N (ramped)	-10323 N (ramped)				
Direction		Defined							
X Component						0. N (ramped)			
Y Component						56778 N (ramped)	83114 N (ramped)	83483 N (ramped)	56468 N (ramped)
Z Component						0. N (ramped)			
Hydrostatic Acceleration									
Define By	Components								
X Component	0. mm/s <sup>2</sup> (ramped)								
Y Component	490. mm/s <sup>2</sup> (ramped)	-490. mm/s <sup>2</sup> (ramped)							
Z Component	0. mm/s <sup>2</sup> (ramped)								
Free Surface Location									
X Coordinate	0. mm								
Y Coordinate	0. mm								
Z Coordinate	0. mm								
Location	Defined								

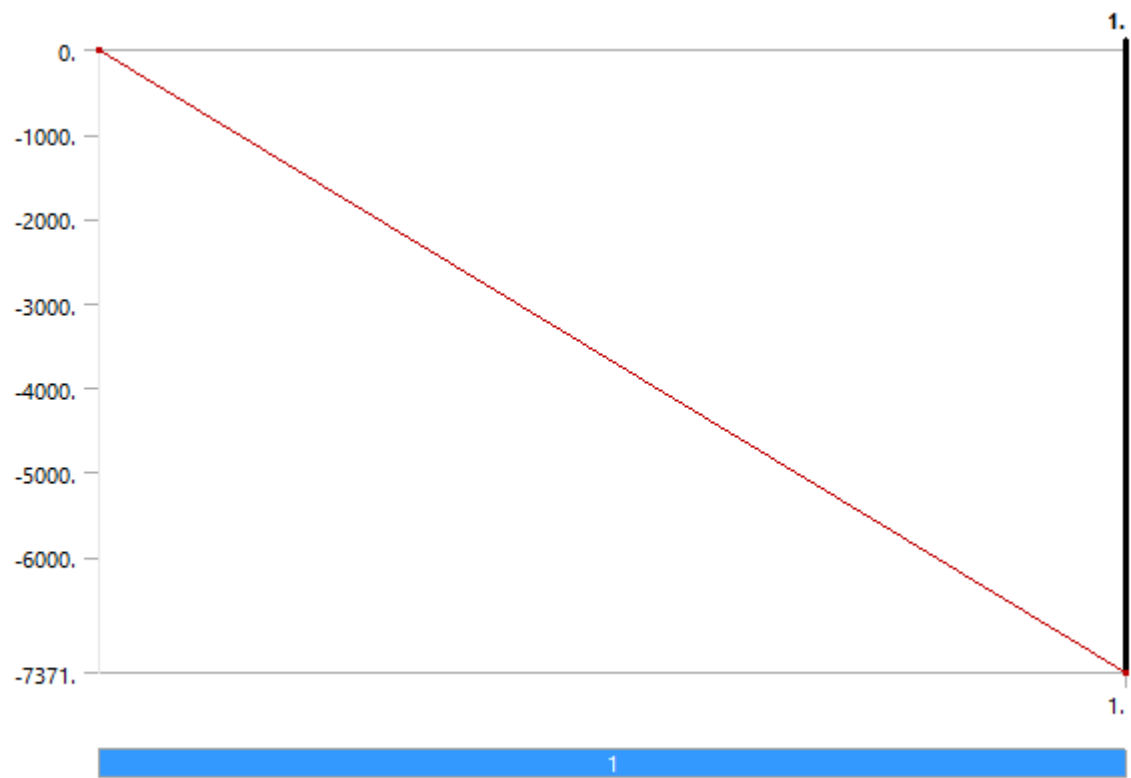
**FIGURE 11**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Hydrostatic Pressure**



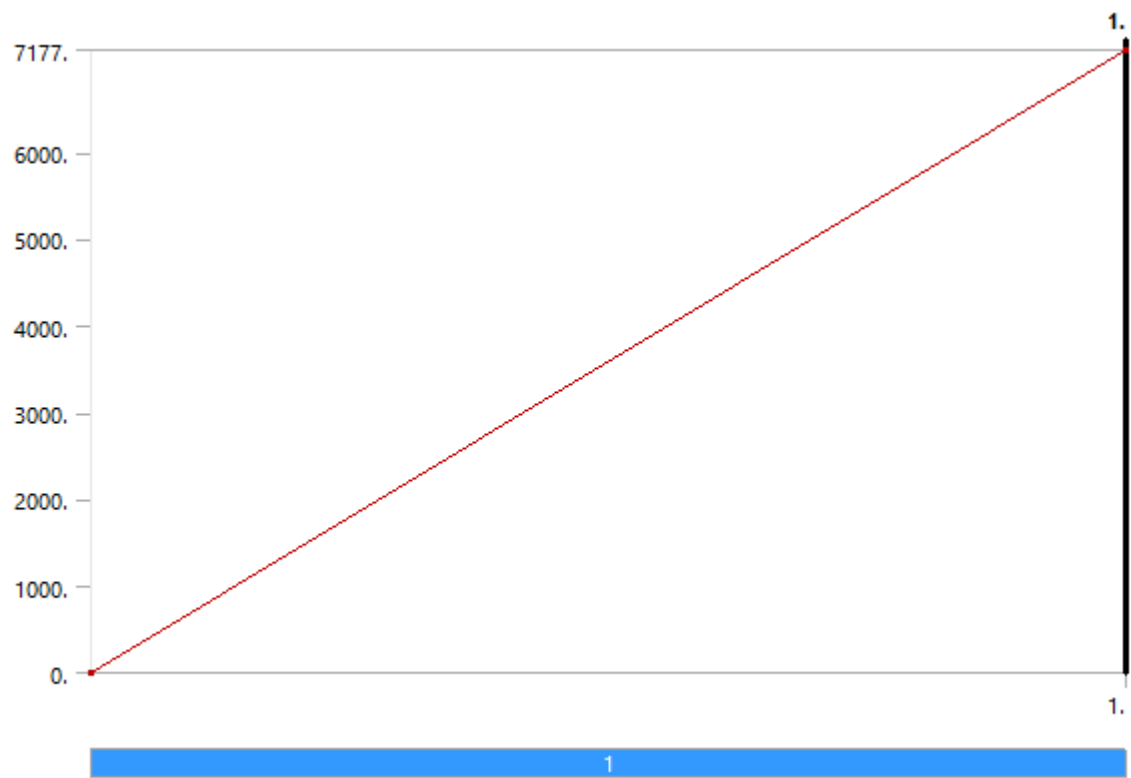
**FIGURE 12**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Hydrostatic Pressure 2**



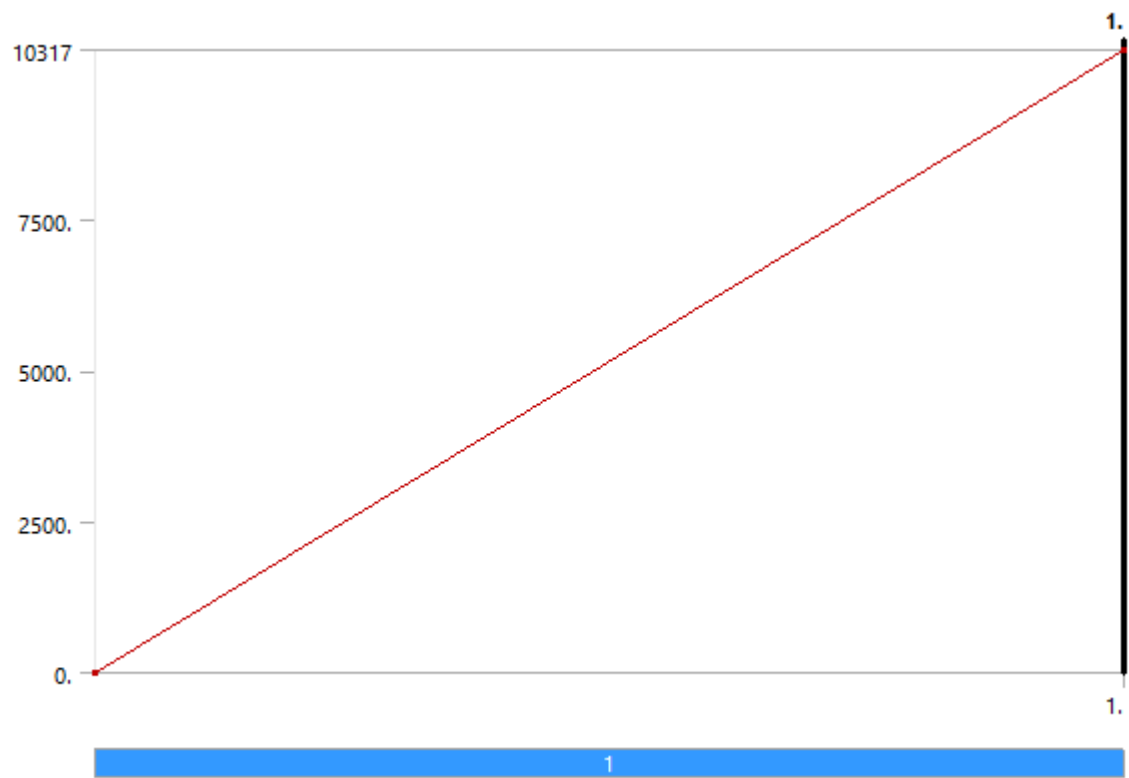
**FIGURE 13**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > PITCH 1**



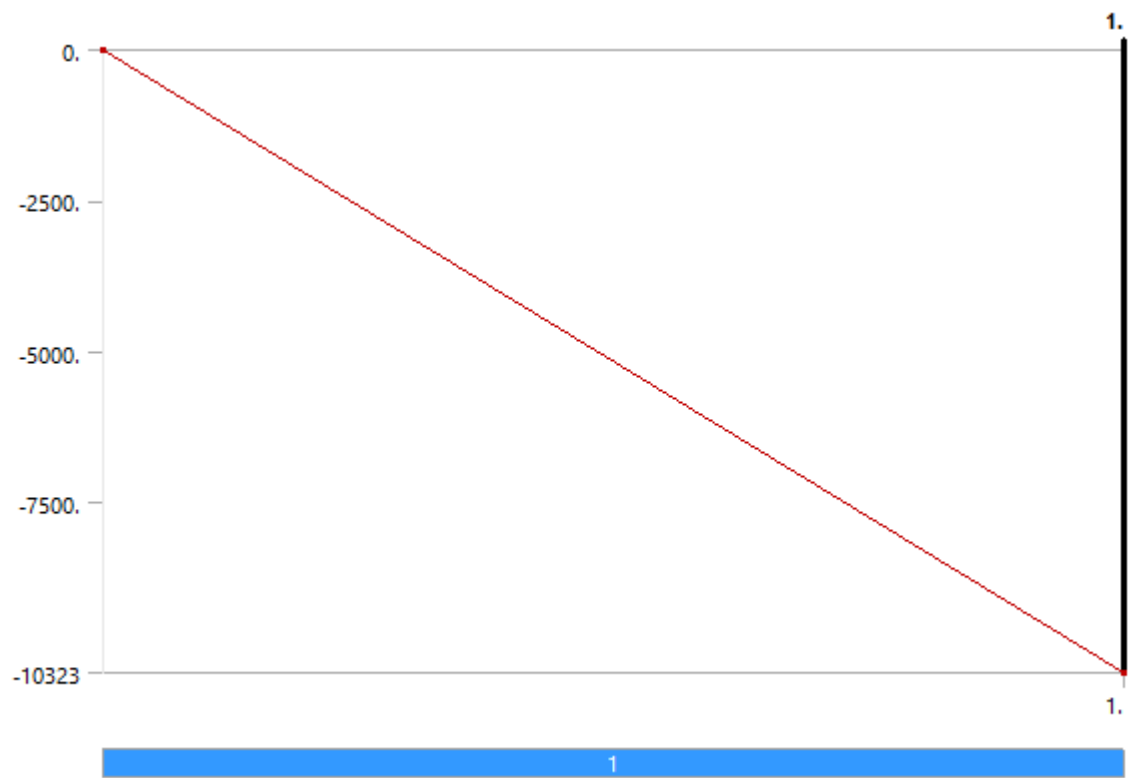
**FIGURE 14**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > PITCH 2**



**FIGURE 15**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > PITCH 3**

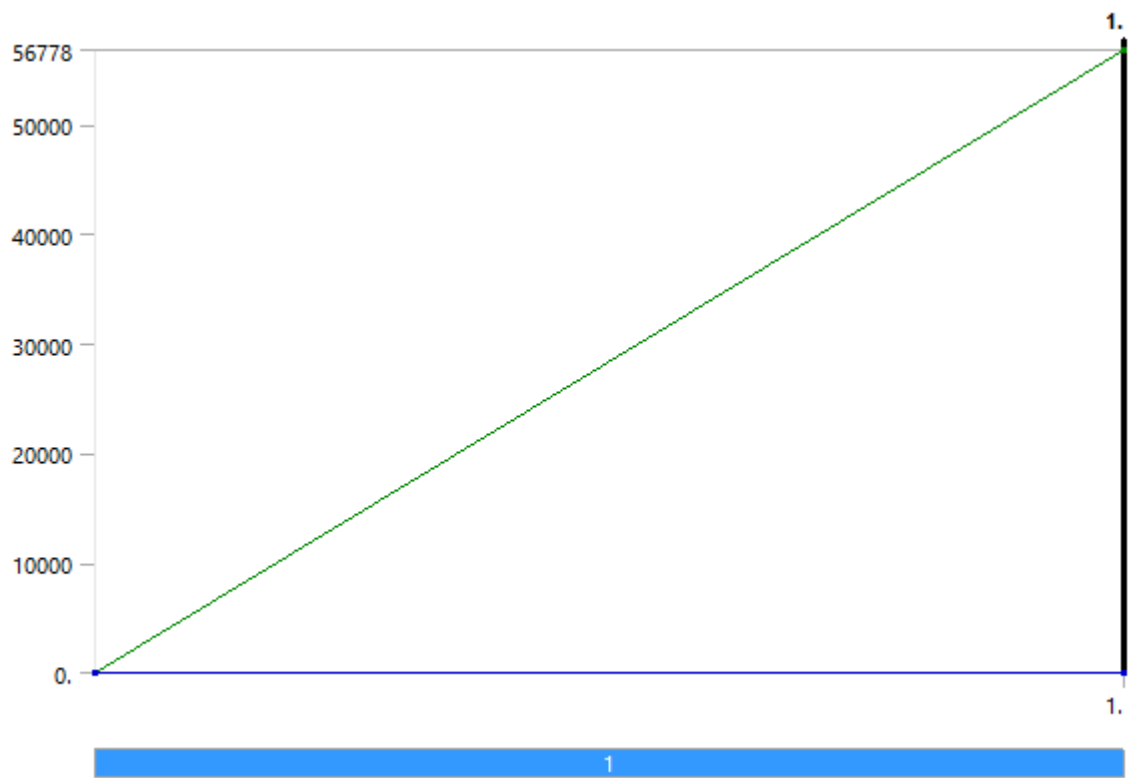


**FIGURE 16**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > PITCH 4**

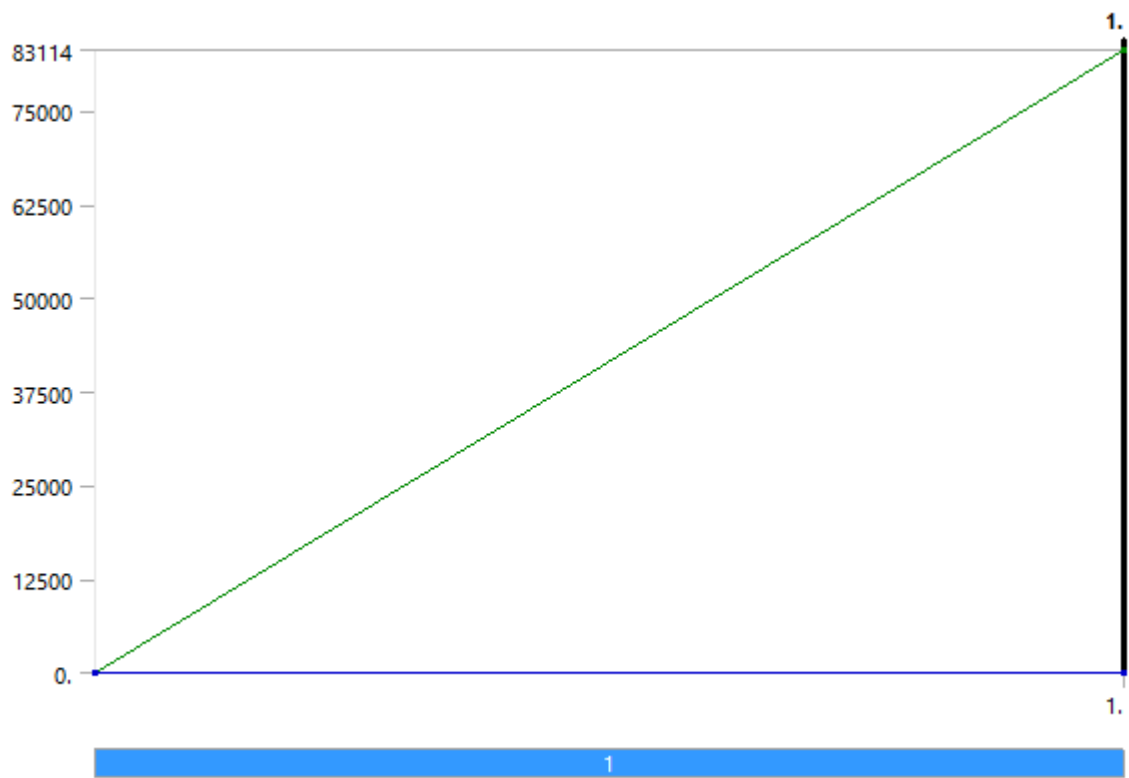


**FIGURE 17**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force**

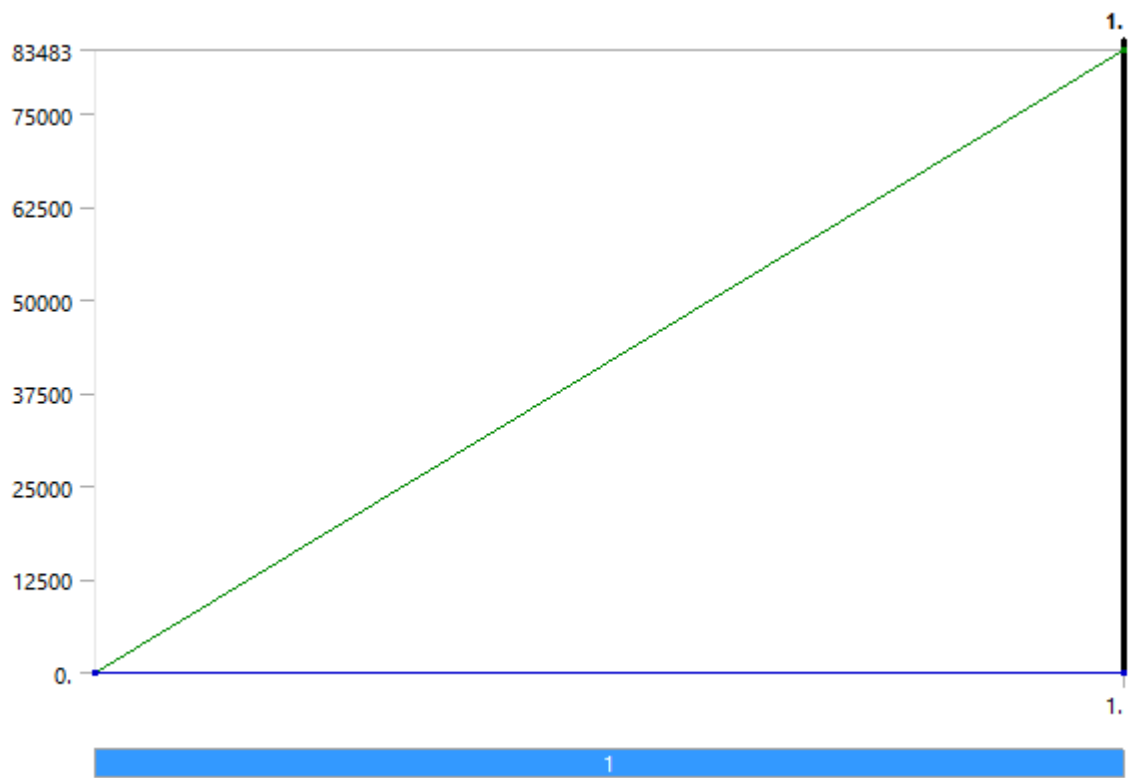




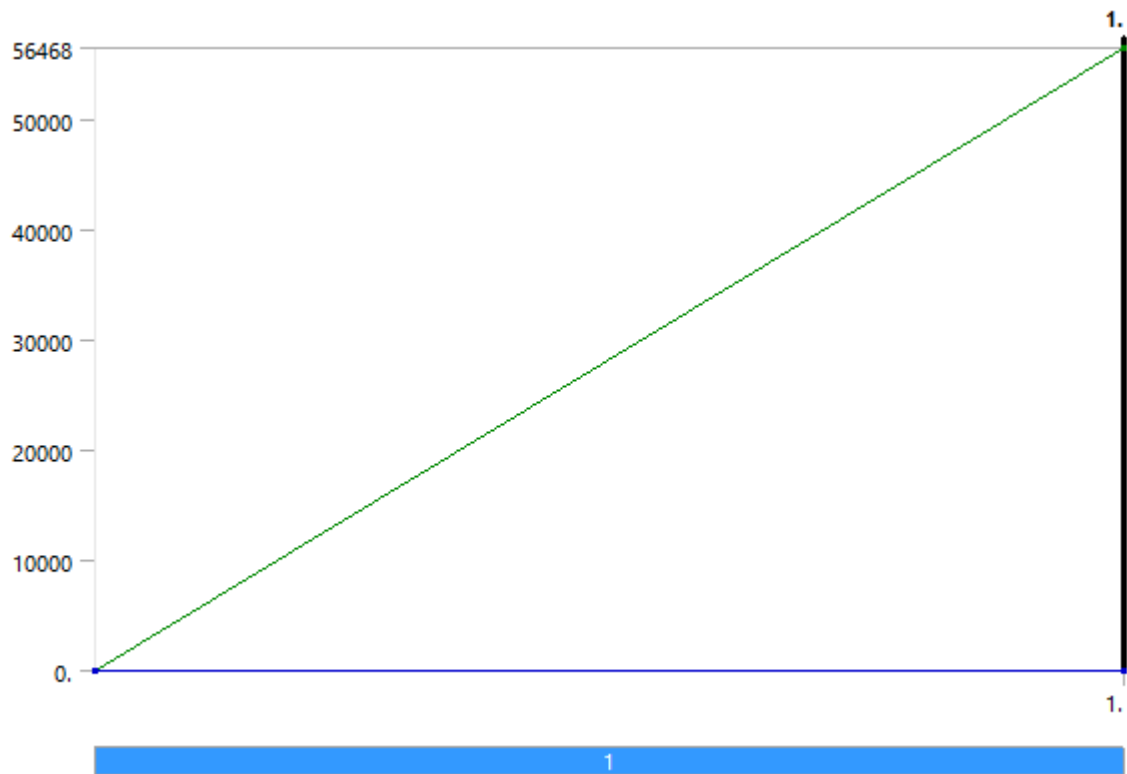
**FIGURE 18**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 2**



**FIGURE 19**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 3**



**FIGURE 20**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 4**



### ***Solution (A6)***

**TABLE 13**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
<b>Information</b>	
Status	Done
<b>Post Processing</b>	
Calculate Beam Section Results	No

**TABLE 14**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

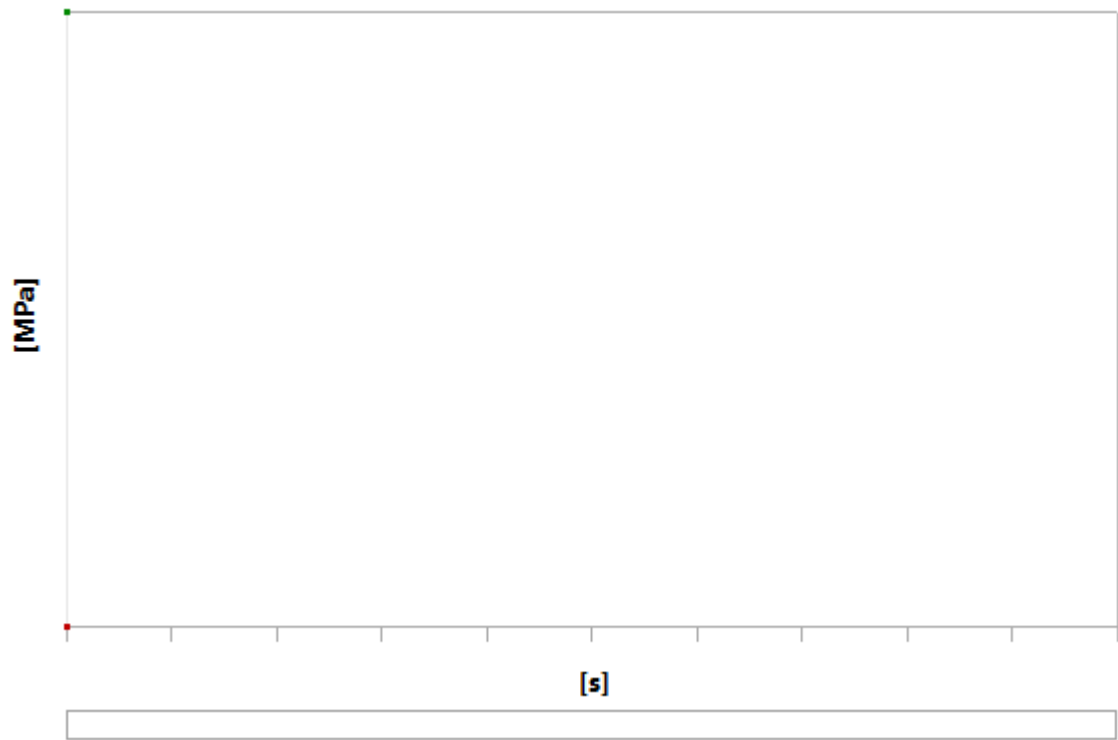
Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All

FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 15**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	Equivalent Stress	Total Deformation
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
Results		
Minimum	3.3448e-006 MPa	0. mm
Maximum	104.77 MPa	6.9693 mm
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

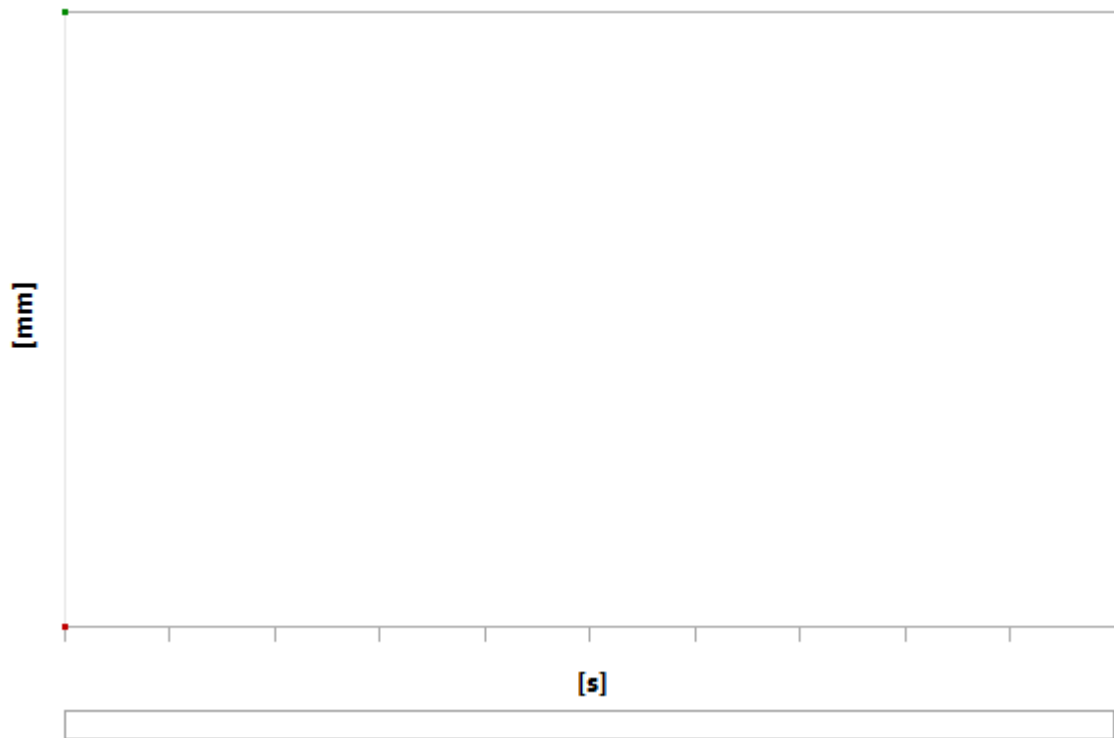
**FIGURE 21**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress**



**TABLE 16**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress**

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1.	3.3448e-006	104.77

**FIGURE 22**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation**



**TABLE 17**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation**

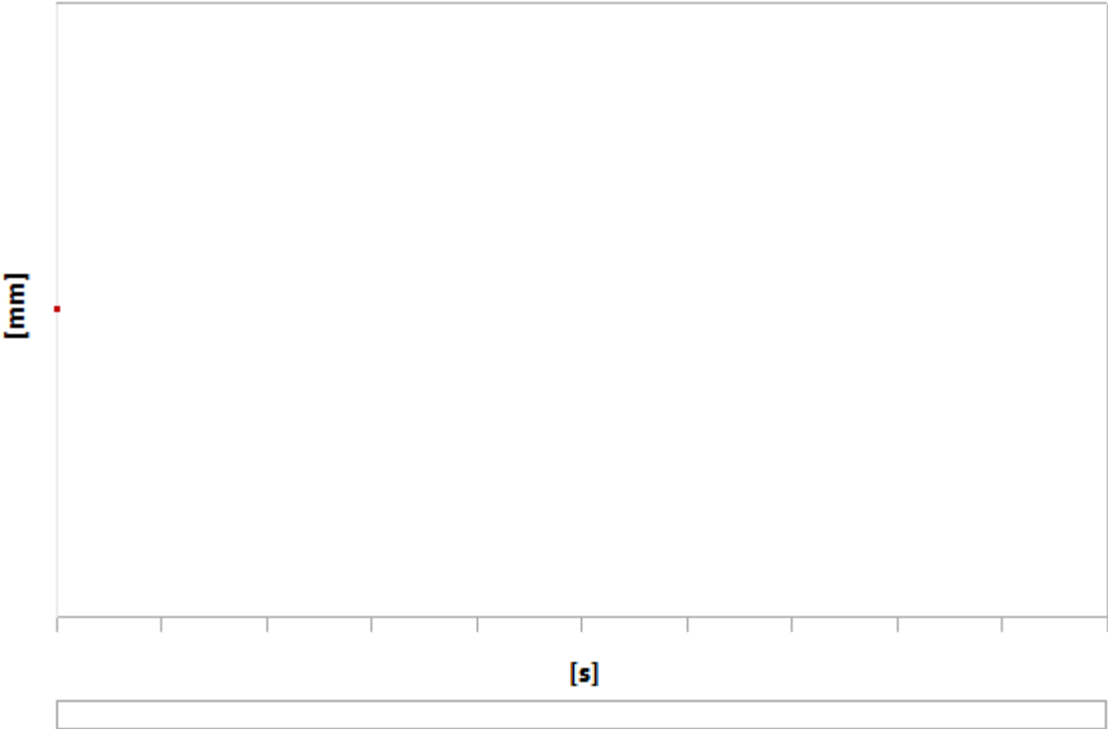
Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1.	0.	6.9693

**TABLE 18**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Probes**

Object Name	Deformation Probe	Stress Probe
State	Solved	
Definition		
Type	Deformation	Stress
Location Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Suppressed	No	
Orientation		Global Coordinate System
Options		
Result Selection	Total	Equivalent (von-Mises)
Display Time	End Time	
Spatial Resolution	Use Maximum	
Results		
Total	6.1185 mm	
Equivalent (von-Mises)		12.601 MPa
Maximum Value Over Time		

Total	6.1185 mm	
Equivalent (von-Mises)		12.601 MPa
Minimum Value Over Time		
Total	6.1185 mm	
Equivalent (von-Mises)		12.601 MPa
Information		
Time		1. s
Load Step		1
Substep		1
Iteration Number		1

**FIGURE 23**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Deformation Probe**

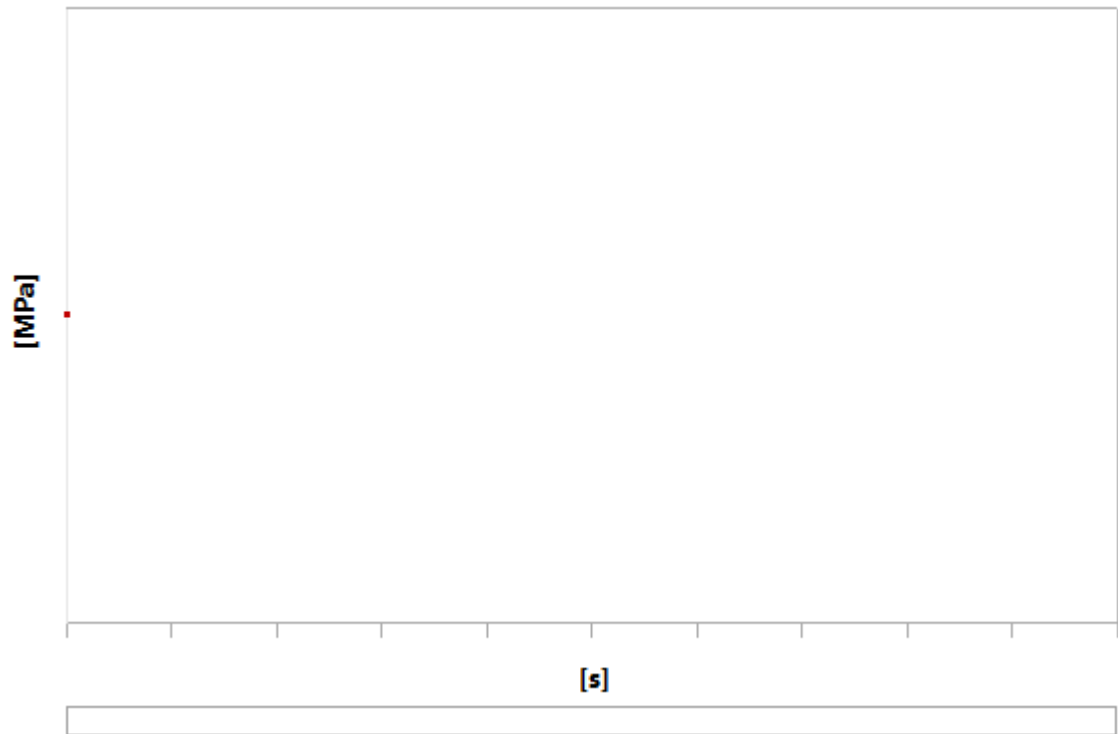


**TABLE 19**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Deformation Probe**

Time [s]	Deformation Probe (Total) [mm]
1.	6.1185

**FIGURE 24**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Probe**





**TABLE 20**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Probe**

Time [s]	Stress Probe (Equivalent (von-Mises)) [MPa]
1.	12.601

## Material Data

### *Structural Steel*

**TABLE 21**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7.85e-009 tonne mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4.34e+008 mJ tonne <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

**TABLE 22**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa
0

**TABLE 23**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa
250

**TABLE 24**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
250

**TABLE 25**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
460

**TABLE 26**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22

**TABLE 27**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999	10	0
2827	20	0
1896	50	0
1413	100	0
1069	200	0
441	2000	0
262	10000	0
214	20000	0
138	1.e+005	0
114	2.e+005	0
86.2	1.e+006	0

**TABLE 28**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920	-0.106	0.213	-0.47	1000	0.2

**TABLE 29**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923

**TABLE 30**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000

# **BAB I**

## **PENUTUP**

### **1.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisa yang dilakukan mengenai gaya dan tegangan yang bekerja pada struktur geladak *barge* akibat beban-beban ketika kapal dalam kondisi operasi dapat disimpulkan bahwa:

1. Beban yang bekerja pada struktur geladak beban akibat gerakan kapal, *bending moment* dan *shear force* dari perhitungan kekuatan memanjang kapal, dan beban akibat angin. Dimana beban-beban tersebut dikombinasikan sehingga menghasilkan tegangan yang maksimum pada konstruksi geladak.
2. Tegangan yang terjadi pada lambung adalah sebesar 104.77 MPa dan pada geladak sebesar 12.601 MPa dimana kedua tegangan ini di bawah tegangan ijin pada *rules GERMANISCHER LLOYD* yaitu sebesar 225 MPa. Kemudian deformasi yang terjadi pada konstruksi beban sebesar 6.9 mm dimana deformasi sebesar ini masih diperbolehkan pada *rules ABS Shipbuilding and Repair Quality Standard For Hull Structures During Construction* dimana batas ijin deformasi adalah sebesar 7 mm.

### **1.2 Saran.**

Saran yang dapat disampaikan untuk penelitian lebih lanjut adalah :

1. Perlunya dikaji gerakan *barge* dengan memperhatikan kapal tunda yang menarik *barge* dimana gerakan dua kapal ini saling berpengaruh.
2. Mencari program lainnya untuk menghitung tegangan yang terjadi pada kapal, karena pada *ANSYS* diperlukan spesifikasi komputer yang lebih tinggi untuk analisa tegangan pada keseluruhan badan kapal
3. Perlunya dilakukan analisa *ultimate strength* pada *barge* sehingga bias mengetahui berapa *container crane* yang bisa diangkut dalam satu kali transportasi.

## Daftar Pustaka

- ABS, 2014, *Rules for Building And Classing Mobile Offshore Drilling Units*, USA: American Bureau of Shipping Incorporated.
- Bhattacharyya. R., 1978, *Dynamics of Marine Vehicles*, New York: John Wiley & Sons Inc.
- Djarmiko, E.B., 2003, *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS Press. Surabaya.
- Hamzah M., 2015, *Analisis Fatigue pada Kontruksi Crane Pedestal Flooting Storage and Offloading (FSO) Arco Ardjuna Pertamina Hulu Energi ONWJ*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.
- Murtedjo, M., 1990, *Teori Gerak*, Surabaya : Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- Popov, 1986, *Mechanics of Materials*, Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Yulfani, Rosi Dwi, 2013, *KeandalanStruktur Geladak Kapal ATongkang pada Transportasi Jacket Platform*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.
- Ilma, Erwina Rizki, 2010, *Analisa Kekuatan Struktur antara Deck dan Lambung Bagian Dalam Kapal Katamaran*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS. Surabaya.
- Romani, Abdul Aziz, 2015, *Analisa Kekuatan Modifikasi Konstruksi Geladak Utama Kapal LCT VIP JAYA 893 GT dengan Metode Elemen Hingga*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan, Universitas Dipnegoro.
- Mulyatno, Imam Pujo, 2011, *Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck pada Kapal KM. Dharma Ferry 3 Dengan Metode Elemen Hingga*.
- Murman, A., 2002, *Analisa Seafastening Jacket pad Deck Barge*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS Surabaya
- International Association of Classification Societies*, 2006, *Load Line*,.
- Germanischer Lloyd, 2013, *Guideliness for Global Strength Analysis of Multipurpose Vessels*. Germany, Hamburg.

Germanischer Lloyd, 2015, *Hull Structure*. Germany, Hamburg.

*International Association of Classification Societies*, 2016, *Strength of Ships*.

ABS, 2015, *Mobile Offshore Drilling Units*. Houston, USA

DNV RP-C-205, 2010, *Environmental Conditions and Environmental Loads*,  
Norway: Det Norske Veritas.

## BIODATA PENULIS



Zulwaqor Maulana lahir di Surabaya Jawa Timur, pada 19 Agustus 1994. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di SDN Pabean 1 Sedati Sidoarjo, di lanjutkan tingkat menengah pertama di SMPN 4 Surabaya dan tingkat menengah atas di SMAN 15 Surabaya. Setelah lulus SMA pada tahun 2012 penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas

Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Selama menempuh masa studi selain aktif dibidang akademis, penulis juga aktif di berbagai kegiatan intra kampus. Kegiatan intra kampus yang penulis pernah ikuti menjadi Instructur Commitee Pengaderan HIMATEKLA 2014/2015, Staff Himpunan Teknik Kelautan Departemen Sosial Masyarakat 2013/2014, Kepala Divisi Lingkungan Himpunan Teknologi Sosial Masyarakat 2014/2015. Penulis juga aktif di berbagai kepanitian seperti OCEANO 2014 dan OCEANO 2015. Penulis memiliki pengalaman melakukan kerja praktek di PT. Biro Klasifikasi Indonesia. Penulis mengakhiri masa kuliah dengan menulis tugas akhir dengan judul “Analisis Kekuatan Konstruksi Geladak Barge Akibat Pengaruh Beban Pada Saat Proses Transportasi *Container Crane* PT.Berlian Jasa Terminal Indonesia”. Kritik dan saran untuk kelancaran penelitian ini dapat disampaikan melalui email penulis yaitu [zulwaqormachmad@gmail.com](mailto:zulwaqormachmad@gmail.com)